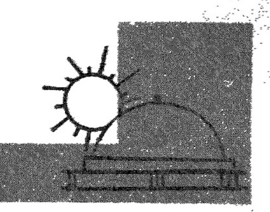
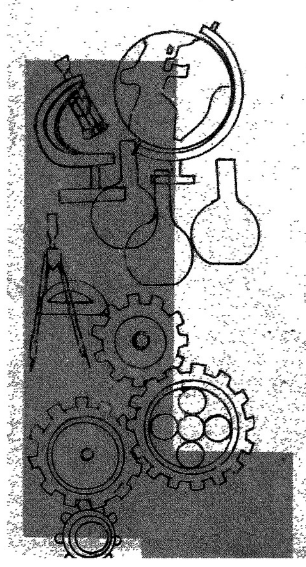
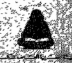
٢٤



قصة الأوزون

د. زين العابدين متولى





العلم و الحياة

٢٤

قصة الأوزون

تأليف
د. زين العابدين متولى



١٩٩٣

تقـــديم

الأوزون هو الغاز الذى يتـكون جزيئـه من ثلاث ذرات أكسجين ونسبة تواجـده فى الغـلاف الهـوائى بالنسبة لبعض الغازات الأخرى صغيرة جدا .

عرف الانسان منذ عدة سنوات أهميـة طبقة غاز الأوزون للحياة على سطح الأرض . وبالرغم من صغر الكميـة الكليـة لغاز الأوزون اذ أن متوسـط كميته لا يزيد عن ٣٥٠ وحدة من وحدات دويسون (وحـدة الدويسون تساوي جزءا واحدا من الألف من السنتيمتر على السنتيمتر المربع عند سطح الأرض فى معدل الضغط ودرجة الحرارة) ولكنها تحمى الانسان والحيوان والنبات وكل الكائنات الحيه من أخطار الأشعة فوق البنفسجية منذ عدة ملايين من السنين مضت وان شاء الله سـوف يستمر وجودها الى أكثر من عشرات البلايين القادمة .

كمية الأوزون المـوجودة فى طبقة التروبوسـفير

صغيرة جدا اذا ما قورنت بنظيرتها فى الاستراتوسفير وهذه الكمية الصغيرة لا يمكن اهمال تأثيرها على الجو المحلى من حيث توزيع درجات الحرارة كما أنه يؤثر على عناصر جوية محلية أخرى ، ومصدر وجود غاز الأوزون فى طبقة التروبوسفير يرجع الى عاملين أساسيين : الأول هو نقل الأوزون من طبقة تكونه فى الاستراتوسفير الى طبقة التروبوسفير ويحدث هذا فى المناطق الغنية بالأوزون (المناطق المعتدلة والقطبية) ويتم هذا النقل طبيعيا ولا ينتظر أن يتغير هذا النقل بمرور الوقت ٠ والعامل الثانى التفاعلات الكيميائية التى تحدث داخل طبقة التروبوسفير فى الهواء النقى أو الهواء الذى يحمل ملوثات وعلى العموم فمعلوماتنا عن هذه التفاعلات مازالت غير كافية لتفسير زيادة أو تناقص الكمية الكلية لغاز الأوزون ٠

وينتشر غاز الأوزون فى الجو مبتدءا من سطح الأرض وحتى ارتفاع ٦٠ كيلو مترا والنهاية العظمى لتركيزه تظهر فى طبقة الاستراتوسفير عند ارتفاع يتراوح بين ٢٥ ، ٣٠ كيلو مترا وتكون أكبر قيمة لتركيزه عند هذا الارتفاع حوالى ١٠ وحدات حجم من الغاز فى كل مليون وحدة حجم من الهواء ٠

يمتص غاز الأوزون الحزمة الضوئية من الاشعاع فوق البنفسجى الصادر من الشمس وتتراوح أطوال موجات هذه الحزمة من ٢٨٠٠ الى ٣٢٠٠ أنجستروم

ويطلق عليها الاشعاع فوق البنفسجي ب ۰ وأشعة هذه الحزمة حارقة قاتلة لجميع الكائنات الحية وبذلك يكون الأوزون هو المسئول الأول والأخير عن عدم وصول أشعة هذه الحزمة الى سطح الأرض وحماية الكائنات الحية من أخطارها ۰

وعندما يحدث نقص لغاز الأوزون في الغلاف الجوى تزداد شدة سقوط الأشعة فوق البنفسجية على سطح الأرض وبذلك سوف تزداد أمراض العيون وسرطان الجلد ولهذه الأشعة تأثير ضار وفتاك على الأسماك والطحالب وكذلك على النباتات والأشجار وغيرها من الأحياء ويمتد هذا التأثير الى اتلاف اطارات السيارات والمواد البلاستيكية وكذلك الملابس المصنعة من البتروكيماويات ۰

وتشير التنبؤات باستخدام النماذج الرياضية عن وجود نقص في نسبة تركيز غاز الأوزون في طبقة الاستراتوسفير ويكون مقابل هذا النقص في طبقة التروبوسفير هو زيادة في تركيزه ويكون محصلة ذلك هو نقص في الكمية الكلية للأوزون وزيادة في درجات الحرارة المتوسطة عند سطح البحر ۰

وفي هذا الكتيب سوف نحاول تقديم تفسير لظاهرة النقص في غاز الأوزون ۰ خاصة وأن الميثان وثاني أكسيد الكربون يسببان زيادة في الكمية الكليةللغاز أما الكلوروفلوركربون وأكاسيد النتروجين فيسببان نقصا

له والاتزان الطبيعي يحافظ على ثبات نسبة تواجده العادية فى الطبيعة ٠

وليس هناك أى ضرر اذا أخذنا في الاعتبار وجود نقص في كمية الأوزون على الرغم من أن هذا غير مؤكد الى الآن ٠

لماذا لا يخاف الانسان من نقص كمية الأكسجين اللازم لبقاء الحياة على سطح الأرض اذا استمر في استعمال مصادر الطاقة كالفحم والغاز الطبيعى والنفط حيث ان احتراق هذه الخامات يحول الأكسجين الى ثانى أكسيد الكربون ولكن الحسابات العلمية بينت أن كمية الأكسجين الجوى سوف تنقص فقط ١٥ر٪ أى تصبح ٨ر٢٠٪ من حجم الهواء بدلا من ٩٥ر٢٠٪ وهذه كمية ضئيلة جدا وهذا يبين بوضوح أن الانسان بكل أنشطته ومحاولاته للتغيير فى مناخ الأرض لم ولن يستطيع ولو بعد حين أن يغير به حتى ولو قيد أنملة ٠

واذا أخذنا في الاعتبار وجود نقص فى كميات الأوزون والأكسجين فيكون هذا اعترافا بقدوم أخطار جسيمة تنتج من جراء تأثير هذا النقص على مناخ الكرة الأرضية لا نستطيع علاجها فى المستقبل القريب أو البعيد ولذلك يجب على علماء الطب والارصاد والنبات والحيوان والبيئة أن يهتموا بدراسة طبقة غاز الأوزون ومعرفة كل الخواص الكيميائية والفيزيائية لها ووضع خطط مستقبلية لدراسة هذه الطبقة ٠ وعمل فرق

بحثية لدراسة خواص وتصرفات الملوثات التى يطلقها الانسان فى الجو وتسبب نقصا لغاز الحياة الأوزون والاهتمام من اليوم فصاعدا بدراسة تأثير تغير طبقة الأوزون على حياة الانسان والغلاف الحيوانى خاصة وعلى المناخ عموما .

مدخـــل

●● من الطبيعى أن نبدأ اسـتعراضنا لبعض العمليات التبادلية التى تتم داخـــل الغلاف الجوى وخاصة التى تحدث بين غازات الجو فى الطبقة المحصورة بين سطح الأرض وحتى الطبقة النشطة كيميائيا التى تقع عند ارتفاع ٣٥ كيلومترا تقريبا وهذا ما يعــرف بالتبادل الراسى وكما أنه يوجد تبادل رأسى فهناك تبادل آخر افقى وهنا التبادل الأفقى اقوى بكثير من التبادل الراسى وخاصــة على المدى الطويل • وكل من هذين التبــادلين يحـافظ على الاتزان الطبيعى للغــازات على خطوط العرض المختلفة وكذلك مع الارتفاعات المختلفة •

التبادل الرأسى (تيارات الحمل)

تيارات الحمل الرأسية تتكون نتيجة صعود هــواء الى أعلى وهبوط هواء آخر الى أسفل فى داخــل الرياح العامة للجو وتكون نتيجة هذه الحركة هــو نقــل بعض المواد والغازات من الارتفاعات الغنية بها الىالارتفاعات التى تفتقر اليها ومحصلة هذا فاننا نجد أن بخار المــاء وثانى أكسيد الكربون وأكاسـيد النيتروجين والميثــان والملوثات الموجودة فى الطبقة الدنيا للجــو تنتقــل الى الارتفاعات الأخرى ويوجد فى طبقة التروبوسفير بعض الظواهر التى تساعد على نقل المواد العالقة بالجو وكذلك الغازات من ارتفاع الى آخر مثــل العــواصف الرعدية والمنخفضات الجوية والدورة العامة للرياح • وتوجــد سحب طبقية تمتد أفقيــا من ١٠ كيلومترات الى ٢٠٠ كيلو متر وترتفع رأسيا الى ارتفاع ٩ أو ١٢ كيلو مترا وهناك بعض السحب الطبقية الممطرة قد تمتد رأســيا الى ٢٠كيلو مترا ومنالمحتمل أن تخترق قمم هذه السحب التروبوبوز وتدخــل عــدة كيلو مترات داخــل طبقــة الاستراتوسفير (شكل ١) •

ومعظم المياه التى تحملها تيارات الحمل داخل هذه السحب تتحول الى ثلوج ومثل هذا الحمل يحدث اختلاطا بين طبقتى الاســتراتوســفير والتروبوســـــفير عبر التروبوبوز •

والحركة الرأسية القوية المصحوبة بتفرق الهــواء

أو تجمعه وتظهر آثار هذه الحركة فى أسفل طبقة الاستراتوسفير التى تشتمل على توزيع تدريجى رأسى قوى للأوزون .

ويوجد بهذه الطبقة تيارات حمل أفقية قوية وهى التى تسبب تغير الكمية الكلية للأوزون من يوم الى آخر فى المناطق التى تمر بها المنخفضات الجوية ويمكن للهواء ذى السرعة العالية أن يحدث مثل هذا .

الاشعاع الشمسى :

عند تحليل الطيف الشمسى يتبين لنا بوضوح ان الطيف عبارة عن موجات كهرومغناطيسية ويمكن تقسيم هذا الطيف الى ثلاثة أجزاء كالتالى :

(أ) الأشعة المرئية وتتراوح أطوال موجاتها ٤٠٠٠ ــ ٨٠٠٠ أنجستروم .

(ب) الأشعة دون الحمراء وتتراوح أطوال موجاتها ٨٠٠٠ ــ ٢٠٠٠٠ أنجستروم .

(جـ) الأشعة فوق البنفسجية وتتراوح أطوال موجاتها ٢٠٠٠ ــ ٤٠٠٠ أنجستروم .

والجزء الأخير يمكن تقسيمه الى ثلاث حزم كالتالى:

الحزمة الأول : تسمى بالأشعة فوق البنفسجية أ وتتراوح أطوال موجاتها من ٣٢٠٠ ــ ٤٠٠٠ أنجستروم وقابلية الأوزون لامتصاص هذه الحزمة ضعيف .

الحزمة الثانية : وتسمى بالاشعاع فوق البنفسجى ب وتتراوح أطوال موجاتها من ٢٨٠٠ ـ ٣٢٠٠ .

الحزمة الثالثة : والأخيرة تسمى بالاشعاع فوق البنفسجى جـ وتتراوح ـ أطوال موجاتها من ٢٠٠٠ ـ ٢٨٠٠ .

وكل تقسيم من التقسيمات السابقة له خواص طبيعية وتأثيرات بيولوجية تختلف كل منها عن الأخرى والذى يهمنا فى هذا الموضوع هو معرفة الكثير عن خواص الأشعةالفوق بنفسجية ولذلك سوف نهتم بدراسة خواص تلك الأشعة دون سواها .

خواص الضوء فوق البنفسجى :

الضوء فوق البنفسجى هو عبارة عن أشعة غير مرئية ذات أطوال موجية قصيرة وطاقة تردد عالية أكثر من الضوء المرئى الذى أطوال موجاته تتراوح ما بين ٤٠٠٠ ـ ٨٠٠٠ أنجستروم .

والضوء البنفسجى الذى أطوال موجاته تقل عن ١٠٠٠ أنجستروم لا تصل الى ارتفاع ١٠٠ كيلو متر حيث ان هذا النوع من الأشعة يمتص عند ارتفاعات أعلى من ذلك وتمتص هذه الأشعة بواسطة جزئيات النتروجين وذرات وجزئيات الأكسجين . أما الموجات التى أطوالها تصل الى١٢١٦ أنجستروم فيمكنها الوصول الى ارتفاع ٣٠ كيلو مترا والحزمة الضوئية التى أطوال

موجاتها تتراوح بين ١٨٠٠ ـ ٢٢٠٠ أنجستروم فهى تمتص بواسطة جزئيات الأكسجين وعن طريق هـــذا تتكون جزئيات الأوزون ، ويتم هذا الامتصاص عنــد ارتفاع ٢٥ كيلو مترا وهــذه الحزمة الضوئية أيضــا لا تصل الى ارتفاع التروبوبوز ٠

وحزمة الضوء البنفسجى ب التى أطوال موجاتها تتراوح بين ٢٨٠٠ ـ ٣٢٠٠ أنجستروم تمتص بواسطة الأوزون ولا تصل الى ســطح الأرض ٠٠ أما فى حالة وجود نقص فى غاز الأوزون فيمكن لهذه الأشعة أن تنفذ فى الغلاف الجوى وتصل الى سطح الأرض وهذه الحزمة خطيرة وفتاكة بالكائنات الحية على سطح الأرض وهى التى تسبب الحــروق الجلدية وسرطان الجلد وتأثيرات بيولوجية أخرى كما أنها تؤثر عــلى الثروة الســمكية والطحالب وعلى عنصر الحياة DNA (ومعنى DNA هو رمز لجزىء حامض نووى وهــو المســئول عن نقل الصفات الوراثية بين أجيال الكائنات الحية) ٠

فى حالة صفاء السماء تبين الأرصاد أن المــوجات الضــوئية (فوق البنفســجى) التى أطوالهــا ٣٠٥٠ أنجستروم تقل شدتها الى ٣٠٪ فى حالة ما تكون الكمية الكلية لغاز الأوزون ٢٥٠ وحدة من وحدات دويســون وتقل شدتها بمقدار ٧٠٪ عندما تكون الكمية الكليــة لغاز الأوزون ٥٠٠ وحدة من وحدات دويســون وعــلى العمــوم فتأثير الأشــعة الفوق البنفسجية يظهر تأثيرها

بوضوح عندما تقل الكمية الكلية لغاز الأوزون بمقدار ٢٠٪ ٠

واذا افترضنا أن شـــدة الأشـــعة للضـــوء فوق البنفسجى الضار بالانسان هى ١٠ وحدات من وحدات القياس عند خط الاستواء فتكون شدتها ٤ وحدات فقط فى المناطق المعتدلة ٠ وعلى العموم فشدة هذه الموجات تتغير فى فصل الشتاء بين ١٠ وحدات الى واحدة وفى فصل الصيف تتغير من ١٠ وحدات الى ٦ وحدات وذلك من خط الاستواء الى المناطق المعتدلة ٠

مما سبق يتبين لنا آن الانسان فى المناطق الاستوائية يمكنه تحمل ١٠ وحدات قياس للأشـــعة فوق البنفسجية وانسان المناطق المعتدلة يتحمل ٤ وحـــدات أى أنه اذا زادت شـــدة الأشعة فوق البنفسجية بمقـــدار ٦٠٪ فى المناطق المعتدلة فسوف تتحملها جميع الأحياء هناك كما يتحملها سكان المناطق الاستوائية ٠ أما اذا زادت شدتها فى المناطق الاستوائية فربما تكون النتيجة سيئة حتى ولو كانت هذه الزيادة بسيطة ٠ وعلى كل حال فالزيادة التى تحدث لشدة الأشعة فوق البنفسجية الى الآن لا ضرر منها ويجب أن ندرس بدقة تأثير هذه الزيادة على الأحياء مستقبلا ٠

والنبات يستطيع حماية نفســه طبيعيا من أخطار الزيادة فى شدة الأشـــعة فوق البنفســجية وذلك بسبب وجود المادة السميكة والخلايا الميتة على أسطح سيقانه ٠

تسمح مياه المحيطات الصافية بنفاذ ٨٠٪ من الأشعة فوق البنفسجية التي لا يقل أطوال موجاتها عن ٣٠٠٠ أنجستروم والمياه الشاطئية ومياه البحيرات والأنهار تمتص الموجات التي تكون أطوالها ٣٥٠٠ أنجستروم ٠

اكتشاف غاز الأوزون :

في بداية عام ١٨٨٠م ٠ اكتشف العالم هارتلي وجود غاز الأوزون في جو الأرض واستنتج أن هذا الغاز يمتص الأشعة فوق البنفسجية الحارقة القاتلة للكائنات الحية ٠ وفي عام ١٩٢٠ تمكن العالمان فابري وبيسون من قياس الكمية الكلية لغاز الأوزون في عمود من الهواء الجوي ارتفاعه قد يصل الى ١٠٠٠ كيلو متر ومساحة مقطعه واحد سنتيمتر مربع في معدل الضغط ودرجة الحرارة وقدرا أن هذه الكمية ٣ مليمترات تقريبا أو ٣٠٠ وحدة من وحدات دويسون ٠

وفي عام ١٩٢٩ استطاع العالم جونز معرفة التوزيع الرأسي لغاز الأوزون في الجو وحدد الارتفاع الذي عنده توجد النهاية العظمى لتركيزات غاز الأوزون ٠ كما أنه توصل الى أن الكمية الكلية لغاز الأوزون تتغير بتغير ارتفاع الشمس في السماء وتوصل الى هذه المعلومات عن طريق الحلول الرياضية النظرية وعلى العموم فقد تم تطوير وتحسين هذه النتائج في الفترة الزمنية ما بين ١٩٣٠ ــ ١٩٤٠م ٠

وفى عام ١٩٢٩ تم معـرفة الكميـة الكلية لغـاز الأوزون عن طريق الأرصاد فقد قام العالم دويسـون ببناء أول جهاز لهذا الغرض وسمى هذا الجهاز باسمه .

جدول (١) الكمية الكلية لغاز الأوزون بوحدات الدويسون فى مدينة القاهرة فى السنوات المختلفة ١٩٨٠ – ١٩٨٦ م

السنة / الشهور	١٩٨٠	١٩٨١	١٩٨٢	١٩٨٣	١٩٨٤	١٩٨٥	١٩٨٦
يناير	٣٠٥	٣١٢	٢٩٧	٣١٠	٣٠٧	٢٥٧	٢٩٩
فبراير	٣١٨	٣١٧	٣٥٩	٣٠٠	٣٠٠	٢٧٩	٣٠٧
مارس	٣١٤	٣٣٩	٣٥٨	٣٢٦	٣١٧	٢٩٤	٣٢٨
ابريل	٣٢١	٣٢٥	٣٣١	٣٢٧	٣٤٠	٣٠٩	٣٢٣
مايو	٣٢٦	٣٣٥	٣٤٧	٣٣٢	٣١٧	٣١٩	٣٤٤
يونيو	٣١٦	٣٢٠	٣٢١	٣١٨	٣٠٥	٣٠٦	٣٠١
يوليو	٣١١	٣١٣	٣١٦	٣١٣	٣٠٨	٣٠٦	٢٦٨
اغسطس	٣٠٨	٣٠٧	٣٠٧	٣٠٨	٣٠٣	٣٠١	٢٩٥
سبتمبر	٢٩٨	٢٩٨	٢٩٩	٢٩٣	٢٩٣	٢٩٥	٢٨٧
اكتوبر	٢٨٩	٢٩٥	٢٨٧	٢٨٣	٢٨١	٢٨٢	٢٨٤
نوفمبر	٢٨٩	٣٠١	٣٠٦	٢٨٧	٢٨٢	٢٨٩	٢٨٦
ديسمبر	٢٨٩	٢٩٤	٢٨٦	٢٨٣	٢٨٠	٢٩٨	٢٩٣

وبنى الجهاز على نظـرية تحليـل التليف وعن طـريق التحليل الطيفى يمـكن حساب الكميـة الكليـة لغـاز الأوزون وعلى العموم فان عدد هذه الأجهزة قليل وغير كافية لتحديد ما اذا كانت الكمية الكلية للغاز تقـل أم لا لأنه كما أوضحنا أن التغيرات الجوية أو الاضطرابات

الجوية يمكن أن تنقل الغاز من مكان لآخر وهناك احتمال كبير أن الهواء ينقل الغاز من الأماكن الغنية به الى أماكن تفتقر اليه ٠

ويوجد بمصر جهازان من أجهزة دويسون الأول تابع لجامعة القاهرة كلية العلوم ـ قسم الفلك والأرصاد الجوية واستخدم لقياس الكمية الكلية للغاز فى الجيزة وبعد ذلك عملت له محطة ارصاد فى مدينة اسوان ويعمل الى الآن بكفاءة عالية ٠

والجهاز الثانى تابع للهيئة العامة للأرصاد الجوية ويعمل لنفس الغرض بكوبرى القبة ـ القاهرة ٠

(انظر الجدول رقم (١) به المتوسطات الشهرية لكميات الأوزون خلال الفترة ١٩٨٠ ـ ١٩٨٦) ٠

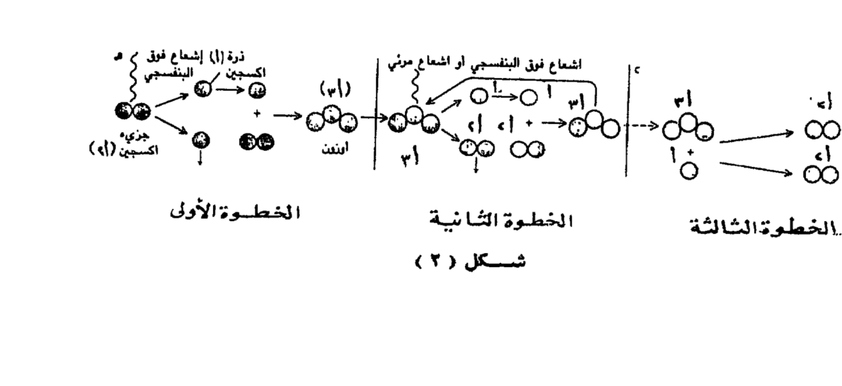
وفى عام ١٩٥٠ ظهرت أجهزة أخرى لقياس الكمية الكلية لغاز الأوزون بعضها مثبت على سطح الأرض وبعضها الآخر محمول على مناطيد وأقمار صناعية وأجهزة القياس المحمولة على مناطيد تفحص بصورة عامة كيمياء الهواء الذى تطير فيه ٠ والأقمار الصناعية يمكنها حمل بعض الأجهزة الأرضية وهذه الأجهزة يمكن استخدامها فى قياس سمك الطبقة أو العمود الذى قد ينتج اذا ما جعلنا كل الأوزون الذى يعلو مباشرة راصدا على سطح الأرض فى معدل الضغط ودرجة الحرارة ٠ وعادة ما يسجل هذا السمك بوحدات دويسون ٠

والآن أصبحت طريقة قياس كمية الأوزون معروفة كما أنه يمكن استخدامها فى عملية التنبؤ بالحالة الجوية ومعروف أيضا مقدرة الهواء أو الرياح على حمل الغاز من مكان الى آخر ونقله أيضا من ارتفاع الى آخر .

تكوين غاز الأوزون :

يمتص الأوزون فى الجو مقادير ضخمة من الاشعاع فوق البنفسجى، الذى لولا الأوزون لوصل الى الأرض. يتولد الغاز (شكل ٢ ــ الخطوة الأولى) حين يقع فوتون الاشعاع فوق البنفسجى ذو الطاقة العالية على جزىء أكسجين (أ٢) . فتنفلت ذرتاه (أ) لتتحدا بجزيئات الاكسجين المجاورة . والأوزون (أ٣) المكون على هذا النحو ، يتم تحطيمه تكرارا بفوتونات الضوء فوق البنفسجى أو الضوء المرئى . ويعاد تكوينه بسرعة ، ويصبح مهيأ لامتصاص مزيد من الضوء (شكل ٣ ــ الخطوة الثانية) . ويموت الأوزون (شكل ٢ ــ الخطوة الثالثة) عندما تصطدم به ذرة أكسجين مكونا جزيئين من الأكسجين .

وتعتبر هذه العملية عملية تفكيك لغاز الأوزون وعند امتصاص جزىء الأوزون للأشعة فوق البنفسجية التى تتراوح أطوال موجاتها بين ٢٠٠٠ ــ ٣٠٠٠ أنجستروم فانه يتفكك الى جزىء أكسجين (أ ٢) وذرة أكسجين (أ) ومجمل القول فانه توجد طبقة آتزان أوزونى فى طبقة الاستراتوسفير ومن هذه الطبقة



إشعاع فوق البنفسجي
ذرة (أ) اكسجين
جزيء اكسجين (أ٢)
(أ٣) أوزون
اشعاع فوق البنفسجي او اشعاع مرئي
الخطوة الأولى
الخطوة الثانية
الخطوة الثالثة

شكل (٢)

يمكن للأوزون أن ينتقل الى الطبقات السفلى وعندما ينتقل الى أسفل فانه يتفاعل مع الملوثات الموجودة عند هذه الارتفاعات ويتحلل الى مركباته الأوكسجينية ٠

مما سبق يتضح أن الأوكسجين والأوزون يشتركان في حماية الكائنات الحية وذلك بامتصاصهما الأشعة فوق البنفسجية ٠ حيث ان جزئيات الأكسجين تمتص الأشعه فوق البنفسجيه التي أطوال أمواجها لا تزيد عن ٢٠٠٠ أنجستروم وتكون الأوزون ثم يقوم الأوزون بامتصاص الأشعة فوق البنفسجية التي أطوال أمواجها تزيد على ٢٠٠٠ أنجستروم ليتحلل الى أكسجين ٠

كمية تركيز غاز الأوزون في الطبقة التي يحدث فيها الاتزان الأوزوني أكبر بحوالي ١٠ ـ ١٠٠ مرة عن نظيرتها في طبقه التروبوسفير و ٩٠ مرة عن الطبقات التي تعلوها ٠ والأرصاد الحالية توضح أن ٢٥٪ من تركيز غاز الأوزون يمكن للرياح أن تنقلها من الأماكن الغنية بالأوزون الى الأماكن التي يكون فيها الأوزون منخفضا نسبيا أو من الارتفاعات التي يكون الأوزون في نهايته العظمى الى الارتفاعات التي تكون فيها نسبة التركيز ضعيفة وهي الارتفاعات التي تقع في طبقة التروبوسفير والمكان الذي تقل فيه كمية الأوزون نتيجة نقل الرياح يزداد فيه الأوزون مرة أخرى (بعد عدة ساعات أو أيام) الى معدلها الطبيعي ٠

والأوزون من الناحية المناخية يزداد في اتجاه

القطب الشمالى شمالا وفى اتجاه القطب الجنوبى جنوبا وتصل أكبر قيمة له فى فصل الربيع على جميع خطوط العرض المختلفة وأقل قيمة له تحدث فى فصل الخريف ٠

التغير فى كميات غاز الأوزون :

والدورة العامة للرياح تعمل على احداث اتزان فى طبقة الأوزون ومعظم العناصر الجوية الأخرى وسوف نضرب مثالا لهذه الدورة ففى المناطق المدارية نجد أن الهواء يبدأ فى التحرك متجها نحو خط الاستواء فى نصفى الكرة الأرضية (الرياح التجارية) وتتجمع عند خط الاستواء ويصعد الى أعلى ثم يتحد مرة أخرى متجها الى خطوط العرض التى جاء منها عند ارتفاعات ١٠ ــ ١٥ كيلو مترا توجد مثل هذه الخلية خلايا أخرى فهناك واحدة فى المناطق المعتدلة وأخرى على المناطق القطبية ٠

ومثل هذه الخلايا تقوم بعمل نقل بعض المواد من سطح الأرض الى الاستراتوسفير وبدورها فى أماكن أخرى تنقل بعض المواد من الاستراتوسفير الى سطح الأرض وهذه الخلايا تقوم بعمل الاتزان لبعض الغازات وخاصة الأوزون حيث أن حركة الهواء داخل هذه الخلايا لا تتوقف عند الحركة الرأسية فقط بل هناك حركات أخرى دوامية واضطرابية ٠

ونظرا لأهمية هذه الطبقة فيجب على المتخصصين فى هذا المجال عمل دراسات جادة لهذه الطبقة وذلك

لمعرفة المواد آلتي يطلقها الانسان نتيجة أنشطته المختلفة والتى من شأنها أن تقلل الكمية الكلية لغاز الأوزون أو تزيدها في جو الأرض وهناك بعض المواد التى يطلقها الانسان فى الهواء تستطيع عن طريق الانتشار أو بالحركة الرأسية للهواء الى أعلى أن تصل الى أعالى التروبوسفير وقد تصل الىأكثر من ذلك الى الاستراتوسفير وهى الطبقة التى يتواجد فيها غاز الأوزون بوفرة وهذه المواد تقوم بتفكيك أو تحليل غاز الأوزون الى ذراته وجزيئاته الأكسوجينية وتحدث اضطرابا حادا فى طبقة الأوزون ٠

وعملية نقص طبقة الأوزون تحدث نتيجة لقذف أو انطلاق بعض المواد الكيميائية التى يستخدمها الانسان فى حياته اليومية ٠ وهذا النقص فى الكمية الكلية لغاز الأوزون يحدث أضرارا بالغة الخطورة على جميع الكائنات الحية ولم تظهر الآثار التدميرية لهذا النقص الى الآن ٠

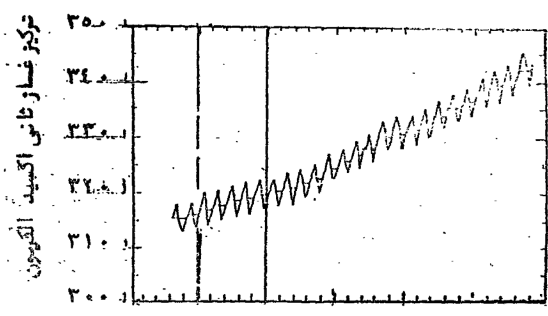
وعلى العموم فقد بدأت آثار التدمير للغاز تظهر بوضوح بعض الشيء عن طريق ظهور بعض الأمراض التى لم نسمع عنها فيما قبل ٠

وهل سنظل واقفين مكتوفى الأيدى حتى نحصل على برهان مطلق يفيد حدوث اختلال فى التوازن الطبيعى ونقص فى غاز الأوزون من يوم الى آخر أو من عام الى آخر وكذلك من خط عرض الى آخر نتيجة لحقن الجو

بالملوثات . لا بل يجب العمل والحفاظ على الطبيعة كما خلقها الله كما لو كان هناك خلل قد يحدث في التوازن الطبيعي .

وهناك بعض الحقائق المؤكدة التي تبين أن المواد الكيميائية التي يستخدمها الانسان تقلل بالفعل من تركيزات غاز الأوزون ولا يجب الانتظار أكثر من ذلك حتى تقع الكارثة فالوقاية والحفاظ على غاز الأوزون خير بكثير من علاج الآثار التي قد تنجم من أخطار النقص المستمر في الكمية الكلية للغاز .

وان المزيد من استهلاك طبقة الأوزون في الغلاف الجوى وهي الطبقة التي تحجب الأشعة فوق البنفسجية من الطراز ب التي أطوال موجاتها ٢٨٠٠ ــ ٣٢٠٠ أنجستروم المسببة للسرطان فهذا يدل دلالة واضحة على الاسراف المستمر في استخدام مادة الكلوروفلوروكربون المدمرة للأوزون وهي المادة التي تنبعث من مصادر عديدة مثل أنابيب رش المواد الكيميائية ومن أجهزة التكييف ويمكن تفسير وجود النقص الأوزوني عن طريقين الطريق الأول هو افتراض أن الملوثات تتسبب في حدوث هذا النقص في حين أن الطريق الآخر يبين أن النقص في غاز الأوزون يمكن تفسيره باستخدام التغير الطبيعي للحركات الجوية التي تنقل الهواء الغني بالأوزون من طبقة الاستراتوسفير القطبية خلال فصل الربيع في نصف الكرة الجنوبي الى مناطق أخرى تفتقر اليه .



شكل (٣) نسبة تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون فى الجو فى مرصد ماأونالو بهاواى

وعموما فهناك دراسات تجريها مؤسسات الفضاء الأمريكية وذلك بالرجوع الى السجلات التى تحوى الأرصاد القديمة عن طبقات الجو العليا فوجدوا أن هذه الظاهرة تتكرر منذ عدة سنوات ولم ينتبه أحد اليها .

وتبين الحسابات النظرية أن تراكم غاز ثانى أكسيد الكربون فى الغلاف الجوى (انظر شكل ٣) يبين مقدار زيادة تركيز ثاني أكسيد الكربون على محطة «ماأونالو» (الأرصاد فى الفترة ما بين ١٩٥٥ ــ ١٩٨٥) يمكن أن يرفع معدل درجة حرارة الأرض الى ما بين ٤ر١ ــ ٥ر٥ درجة مئوية حتى منتصف القرن المقبل وهذا يمكن أن يؤدى الى ارتفاع مياه المحيطات عدة أقدام واغراق

المناطق الساحلية وتدمير مساحات واسعة من الأراضى الزراعية بسبب زيادة الملوحة وأن تغيير أنماط الطقس قد يفسد خصوبة مساحات أخرى كبيرة وتصبح غير صالحة للزراعة والسكنى مما يؤدى الى نشوء حركات هجرة لم يسبق لها مثيل فى التاريخ .

وهناك اعتقاد أن هذا التسخين قد يكون صغيرا جدا لدرجة الانعدام ومهما وصل هذا التسخين من الصغر لابد من أن نأخذ حذرنا منه حتى لا تقع كارثة لا تحمد عقباها فمنذ ألف سنة تقريبا مضت كانت الأرض أدفأ منها الآن فمثلا جزيرة جرينلاند سميت بهذا الاسم لأن شواطئها كانت خضراء بالرغم من أنها اليوم مغطاة بالجليد ومن الأفضل تسميتها بالأرض البيضاء . وفى العصور الوسطى عندما كان التسخين صغيرا كان كافيا لجلب الكوارث والنكبات لسويسرا .

بدراسة أرصاد درجات الحرارة تبين أنها تزداد مع زيادة ثاني أكسيد الكربون على مدينة واشنطن مثلا . فدرجات الحرارة على هذه المدينة في الوقت الحاضر تزيد عن ٣٨° م لمدة يوم واحد فى السنة فى المتوسط وتزيد عن ٣٢ درجة مئوية حوالى ٣٥ يوما كل سنة ويتنبأ العلماء بزيادة هذه المعدلات الى ١٢ يوما للحالة الأولى ، ٨٥ يوما للحالة الثانية فى السنة ويحدث ذلك فى منتصف القرن المقبل . وبذلك سوف يكون جو مدينة واشنطون أسخن كثيرا مما هو عليه الآن . والأمسيات كذلك قد تكون أدفأ فالحرارة

تنخفض الى أقل من ٢٧° م أقل من مـــرة كل ســـنة فى المعدل في الوقت الحاضر وتتضاعف كمية ثانى أكسيد الكربون فان هذا العدد قد يرتفع الى١٩ أمسية كل سنة ·

وسوف نبين فيما بعد أنه بزيادة ثاني أكسيد الكربون قد تنخفض درجات الحرارة المستقبلية عما هى عليــه الآن وأن النماذج الرياضية المستخدمة للتنبؤات لا تعطى نتائج صحيحة مائة فى المائة وأنها تحتاج الى تعديلات واضافات كثيرة وفروض جديدة حتى نحصل منها عــلى نتائج معقولة وبالتالى فالنتائج الســـابقة مشـــكوك فى صحتها ولا يمكن الاعتماد عليها ·

ويراقب العلماء جو الكرةالأرضية من خلال محطات مزروعة فى جـــزر هاواى وذلك بقيـــاس كميـــة ثانى أكسيد الكربون وكانت القراءات تقول ان الأرقام فيما مضى كانت ٣٥٠ جزءا من ثانى أكســـيد الـــكربون فى مليون جزء هواء · ولكنهـــا حققت أرقاما قدرها ٣٩٥ جزءا فى المليون زيادة عن المستوى السابق كما أن ثانى أكســـيد الكربون زاد بنسبة ٢٥٪ عما قبـــل الثـــورة الصناعية فى القرن الماضى ومهمـــة الانســـان الآن هى محاولة عدم السماح لزيادة ثانى أكســـيد الكربون عن ٢٠٪ من الـ ٣٥٠ جزءا فى المليون خلال العشر سنوات القادمة ويخشى سكان أفريقيا من وجود علاقة قد تكون صحيحة بين جفاف أفريقيا والدفء الذى حدث للجـــو فى هذه الأيام وتبين بعض الأبحاث أن الأمطار تزداد فى أوروبا بينما تزداد درجة الحرارة على أفريقيا ·

ثقب الأوزون :

تقع طبقة الأوزون داخل طبقة الاستراتوسفير وهى هامة جدا وضرورية حيث ان هذه الطبقة تحمى جميع الكائنات الحية من الأخطار التى تنجم من تأثير الأشعة فوق البنفسجية الآتية من الشمس كما أنها تعتبر جزءا من أجزاء الجو الفعالة ·

ولقد لوحظ فى عام ١٩٧٠ أن الكمية الكلية لغاز الأوزون فى طبقتى الاستراتوسفير والترويوسفير تقل بشكل ملحوظ (٣٪ من الكمية الكلية) وأن كمية النقص هذه مرتبطة بالملوثات التى يطلقها الانسان فى الجو · وان هذا النقص (٣٪) مرتبط أيضا بعوادم الطائرات وخاصة الطائرات التى سرعتها أكبر من سرعة الصوت وكذلك الطائرات النفاثة التى تحلق فى الهواء على ارتفاعات قد تصل الى المنطقة السفلى من الاستراتوسفير ·

وليس الخوف الآن فقط من تغير مناخ الكرة الأرضية ولكن الخوف من قلة كمية الأوزون عن معدلها الطبيعى وهناك احتمال ضئيل لاستمرار هذا النقص · وفى حالة حدوث ذلك فسوف تزداد شدة الأشعة فوق البنفسجية والتى ستزيد أمراض سرطان الجلد وعتمة العدسة البللورية للعين كما أن لهذه الأشعة تأثيرا ضارا على النبات ·

وفى أواخر عام ١٩٨٢ وأوائل عام ١٩٨٣ وجد أن الكمية الكلية لغاز الأوزون (فى مرصد ماأونالو)

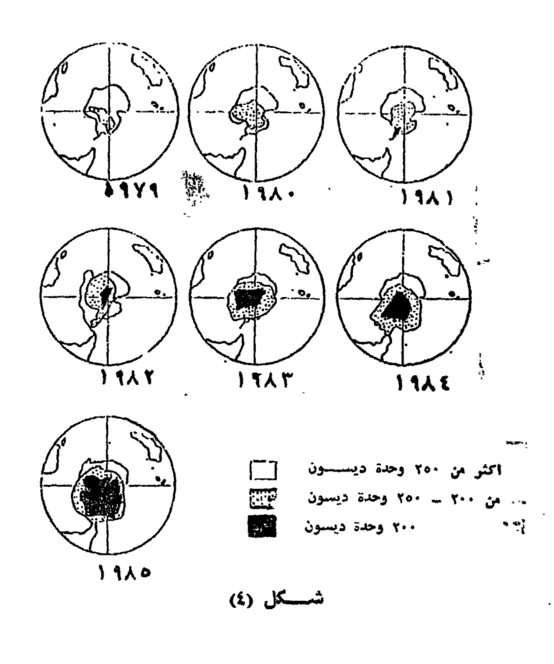
تنقص وعلى غير العادة اذا ما قارنا هذا التغير بتغيرات السنوات السابقة • والأكثر من ذلك أن هذا النقص لم يظهر فقط (فى مرصد ماأونالو) بل ظهر أيضا فى عدة مراصد أخرى فى شمال أمريكا وأوروبا واليابان ولقد وجد العلماء هذا النقص مرتبطا ارتباطا وثيقا بالمواد التى قذفت فى الجو من باطن الأرض نتيجة انفجار بركان الشوشان (المكسيك) •

وفى السنوات الأخيرة ظهرت مشكلة تناقص غاز الأوزون وأول من اكتشف التناقص المستمر فى الكمية الكلية لغاز الأوزون فى فصل الربيع فوق القارة الجنوبية هو يوسف س فارمان وزملاؤه من دائرة المسح البريطانية للقارة الجنوبية وأطلقوا على هذا النقص اسم الثقب الأوزونى وللتحقق من وجود هذا النقص أو الثقب قام يوسف س فارمان وزملاؤه برصد سمك كمية الأوزون فى خليج هالى فى القارة القطبية الجنوبية منذ عام ١٩٥٦ وقاموا بنشر تقرير سجلوا فيه ملاحظاتهم فى عام ١٩٨٥ وفى نفس الوقت قامت (ناسا) باطلاق قمر صناعى لجمع أرصاد عن هذا النقص أو الثقب وقد كانت هذه الأرصاد موافقة الى حد ما مع أرصاد يوسف س فارمان • كما بينت أرصاد أخرى جمعتها (ناسا) أن منطقة ثقوب الأوزون أوسع من القارة القطبية الجنوبية وانها امتدت فى ارتفاع مسافة ١٢ ـ ٢٤ كيلو مترا كما سنبين فيما بعد •

وخلاصة القول انه ظهر في الجو القطبي (ثقب اوزوني) • لقد أزعج هذا الاكتشاف العلماء وجماهير الناس على حد سواء ذلك أنه أوصى بأن الطبقة الاستراتوسفيرية للأوزون المحيطة بالأرض قد تكون في خطر أكبر مما تنبأت به النماذج الجوية • ان التآكل الجارف بهذه الطبقة سيكون سببا للاهتمام البالغ للعلماء • ففي عام ١٩٨٧ قام عدد منهم بعمل تجربة لفحص الأوزون في القارة القطبية الجنوبية بالأجهزة المحمولة جوا وهذه التجربة التي بينت أن الثقب الأوزوني كان في أوجه عام ١٩٨٧ فقط لم تستخدم أجهزة قياس أرضية وأخرى محمولة على أقمار صناعية ومناظير فحسب بل اشتملت أيضا على أجهزة محمولة جوا لجمع معلومات مفصلة عن حجم هذه المنطقة وكيميائها انظر الشكل (٤) •

وأظهرت أرصاد الأقمار الصناعية أن التخريب في طبقة الأوزون ليس فقط في سماء القارة القطبية الجنوبية بل امتد من القطب الجنوبي حتى خط عرض ٤٥ درجة جنوبا ولكن هذا النقص الذي شمل مساحة كبيرة في نصف الكرة الجنوبي لم يأخذ نصيبه من الدعاية والاعلان مثل نقص الأوزون في القارة القطبية الجنوبية •

وأسباب هذا النقص غير معروفة • هل هي نتيجة قذف الانسان للكلوروفلوروكربون في الجو • أم أنها



شكل (٤)

نتيجة للتغيرات الطبيعية التى تحدث فيه مثل الدورة العامة للرياح فى طبقة التريوسفير أو لتغير نفس الدورة (الطويلة المدى) والتى تتم بين المنطقة الاستوائية

والمدارية وكذلك بين المعتدلة والقطبية وسوف نحاول تفسير أسباب هذا النقص فى الفصول القادمة ٠

الأوزون والمناخ :

لقد بدأت دراسة تغير كميات الاوزون وعلاقتها ببعض العناصر الجوية (مثل درجات الحرارة والضغط) منذ زمن بعيد ففى ١٩٣٠ تمكن العالم دويسون من اثبات وجود زيادة فى غاز الأوزون عندما تهب على محطة الأرصاد جبهة باردة ومنذ ذلك الوقت بدأت دراسات تغير غاز الأوزون مع التغيرات ـ الجوية ففى عام ١٩٣٧ تمت معرفة علاقة ارتباط احصائية بين الكمية الكلية لغاز الأوزون مع الضغط الجوى فى طبقتى التروبوسفير والاستراتوسفير وهذه العلاقة موجبة أى عندما تزداد الكمية الكلية للأوزون يزداد الضغط الجوى على الارتفاعات المختلفة داخل طبقتى الاستراتوسفير والتروبوسفير، كما أن هذه الكمية أيضا تتناسب عكسيا مع درجات الحرارة على الارتفاعات المختلفة بمعامل ارتباط يصل الى ٦٩ر٠ وبدراسة هذه الظاهرة على المدن الساحلية على سبيل المثال نجد أن الكمية الكلية لغاز الأوزون عند ارتفاع ثلاثة كيلو مترات تقل عندما تزداد درجات الحرارة فى شهرى مايو وسبتمبر أما فى سيبريا فعندما تنخفض درجات الحرارة وتصل الى ـ ٥٠° م (تحت الصفر) نجد أن الكمية الكلية لغاز الأوزون ترتفع الى قيمة نادرة الحدوث فى العالم حيث

تصل كميته الى ٦٠٠ وحدة من وحدات دويسون ٠ والكمية الكلية للأوزون تتناسب تناسبا عكسيا مع الضغط عند ارتفاع ٣ كيلو مترات وطرديا عند ارتفاع ٢٠ كيلو مترا وعلى ذلك فليست هناك علاقة مقننة بين كمية غاز الأوزون والضغط حيث انه اذا انتقلنا من مكان الى آخر نجد العلاقة التى استنتجت للمكان الأول لا تنطبق على المكان الذى انتقلنا اليه وكذلك بالنسبة للارتفاع ٠

وبدراسة الكمية الكلية لغاز الآوزون فى فصل الربيع وجد أنها تتناسب تناسبا عكسيا مع ارتفاع التروبوبوز وهذا يفسر قلة غاز الأوزون فى المناطق الاستوائية والمدارية التى يكون فيها ارتفاع التروبوبوز عاليا وكثرة وفرته فى المناطق المعتدلة والباردة حيث يكون ارتفاع التروبوبوز منخفضا ٠

ويمكن القول ان الكمية الكلية للغاز تزداد عند وجود منخفض جوى وتقل عند وجود مرتفع جوى أى أن الكمية الكلية لغاز الأوزون يمكن أن تؤثر على بعض العناصر الجوية تأثيرا مؤقتا ومحليا وليس له أى تأثير على مناخ الكرة الأرضية ٠

بدون شك أن غاز الأوزون يلعب دورا أساسيا فى الاتزان الحرارى فى الجو وخاصة فى طبقة الاستراتوسفير ٠ وتغير الكمية الكلية لغاز الأوزون فى عمود الهواء حتما فانه يغير من توزيع درجات الحرارة

فى هذا العمود وأكثر من ذلك فان هذا التغير يتسبب فى تغير توزيع معظم العناصر الجوية الأخرى وعلى الرغم من أن الجو فى مظهره العام يبدو كما لو كان بسيطا فى تغيراته الا أن هناك دورية واضحة لمعظم عناصره مما يجعل التغيرات التى تحدث فى الجو على أيدى الانسان (الآلات ــ الطائرات ــ الأسمدة ــ وأجهزة التكييف) لا تظهر بوضوح بل ويمكن أن تفقد فى خضم التغيرات الدورية الطبيعية للجو ٠

والأوزون يمتص الاشعاع الفوق البنفسجى الآتى من الشمس وبالتالى فأى نقص فى غاز الأوزون سوف يؤدى الى نقص درجات الحرارة فى طبقة الاستراتوسفير واذا قلت الكمية الكلية لغاز الأوزون فيكون مقابل هذا وصول كمية كبيرة من الاشعاع الشمسى الى سطح الأرض وزيادة الاشعاع قد تسبب ارتفاعا فى درجة الحرارة فى المناطق القريبة من سطح الأرض ولكن الى الآن لم ترصد هذه الزيادة المتوقعة فى جو الأرض وان التغيرات التى حدثت نتيجة هذا النقص هى تغيرات لا تذكر حيث ان درجات الحرارة السطحية تزداد زيادة طفيفة ٠

وحيث ان التغيرات الجوية المحلية مرتطة بتغير الكمية الكلية لغاز الأوزون فى طبقة الاستراتوسفير ولكن المواد الكيميائية التى تسبب هذا النقص تحدث أيضا تغيرات فى عناصر الجو المختلفة ومقياس هذا التغير أكبر من مقياس التغير الذى يحدثه غاز الأوزون ٠

فمثلا الكلورفلوروكربون ورابع كلوريد الكربون يعملان في الجو عمل البيوت الزجاجية مثل التى يعملها ثاني أكسيد الكربون والتى من شأنها رفع درجات حرارة طبقات الجو السفلية حيث ان مثل هذه المواد (كلوروفلوروكربون وكلوريد الكربون) يتم حرقها في الغلاف الجوى للأرض وتسبب زيادة في كمية ثاني أكسيد الكربون . وبالاضافة الى تلك الملوثات التى يطلقها الانسان في الغلاف الجوى هناك ملوثات أخرى مثل الأيروسولات وكل هذه المواد تلعب دورا كبيرا وتحدث اضطرابا في الاتزان الاشعاعى للجو . وسوف نتعرض لدراسة تأثير بعض المواد التى يستخدمها الانسان في حياته اليومية على الأوزون .

الأوزون والأسمدة :

تستخدم الأسمدة النتروجينية في الوقت الحالى بمعدل ٥٠ مليون طن فى السنة في جميع أنحاء العالم ويمكن أن تزيد هذه القيمة الى ما يقرب من ١٥٠ مليون طن بحلول عام ٢٠٠٠ بالاضافة الى ذلك يتم تثبيت نتروجين بمعدل ٢٠٠ مليون طن في عمليات أخرى وبالتالى فان استخدام الأسمدة يتوقع أن يكون له بعض التأثير على عملية ازالة النتروجين والتى تؤدى الى انتاج نتروجين جزيئى وكميات صغيرة من أكسيد النتريك حوالى ٧٪ فيكون أكسيد النتروز بواسطة العمليات البكتيرية في الأرض ولقد لوحظ أن حوالى مليون طن مترى من $ن_٢$ أ يتحول الى أكسيد النتريك

الذى يتفاعل مع ذرات الأكسجين القلقة ويتحول الى ثانى أكسيد النتريك الذى ينتشر ببطء الى أعلى فى الجـو حتى يصل الى طبقة الاستراتوسفير وهو الذى يسـاعد على تفكك غاز الأوزون ٠

وعملية التخلص من النتروجين الموجود فى التربة ليست مفهومة بدرجة كافية وعـلى وجه الخصوص قد تمضى فترة زمنيـة طويلة جدا بين استخدام السـماد وعملية التخلص من النتروجين ٠

وقد أثبتت الحسابات أن اسـتخدام الآسـمدة فى هذا القرن قد يؤدى الى نقص فى الكمية الكلية للأوزون بمقدار يتراوح بين صفر ـ ١٥٪ فى نهـاية القـرن التالى ٠ وهذه التقديرات ليست دقيقـة بدرجة كافيـة ويجب دراسة هذا الموضوع بعمق أكثر من ذلك٠ خاصة وأن ازالة أكاسـيد النتروجين من الاستراتوسـفير من شـأنها أن تسـهل تحطيم الأوزون فاذا لم تكن هـذه الأكاسيد متوافرة فلا يمكنها الاتحاد بالكلور (الناتج من تحليل الكلورفلوروكربون) لتكوين مستودع نترات الكلور وبالاضافة الى ذلك فقد تغير عملية ما مستودعات الكلور فتجعلها تطلق كلورا نشـطا عـلى شـكل ذرات فرادية أو على شكل أول آكسيد الكلور وهـذا سـيحطم الأوزون ٠

وفى السـنوات الأخيرة تبين الارصـاد أن هنـاك كميـات كبيرة من أول آكسـيد النتروجين تقـذف من

المصانع . كما أنها تنتج أيضا من تدفئة المنازل وخلافه وتوجد زيادة فى كميات ثانى أكسيد النيتروجين هـذه الزيادة تنتج من عمليـات الاحتراق . ولوجود عمليـة التحولات الكيميائية داخـل طبقة التروبوسفير وكذلك الأمطار نجد أن الغازات النيتروجينية لا تصل الى طبقة الاستراتوسفير وبالتالى لا تؤثر عـلى اضطراب طبقـة الاتزان الأوزونى ولكنها يمكن أن تؤثر على الكميـات الصغيرة الموجودة فى طبقة التروبوسفير .

الأوزون والطائرات :

ان الاستعمال المتزايد للطائرات فوق الصوتية التى تعمل آلات الاحتراق بها فى درجات حرارة عالية يؤدى الى حقن الاستراتوسفير مباشرة بغاز النتريك وقد أثبتت الدراسات أن هناك ارتبـاطا وثيقـا بين معـدل حقن النتريك وتناقص كمية الأوزون كما أن هذا النقص له ارتباط وطيد مع الارتفاع الذى يتم عندهالحقن ويكون هذا الارتباط كبيرا كلما كان الحقن قريبا من طبقـة الأوزون وعليـه فان الطائرات دون الصـوتية وبعض أنـواع طائرات الكونكورد والتى تحلق عـلى ارتفاع ١٧ كيلو مترا ليس لها تأثير ملحوظ على غاز الأوزون . ومن ناحية أخرى فقد وجد أن أسطول طائرات النقـل فوق الصوتية والتى تحلق عـلى ارتفاع ٢١ كيلو مترا بسبب حقن حامض النتريك بمقدار ١٫٨ مليون طن فى

السنة فهذا يؤدى الى احداث نقص فى الكمية الكلية لغاز الأوزون ٠

والطيران الحديث الذى أصبح يحلق على ارتفاعات عالية يطلق فى أعالى التروبوسفير كميات كبيرة من بخار الماء وثانى أكسيد الكبريت وتتحول هذه المواد الى أيروسولات فى الطبقة السفلى للاستراتوسفير ومثل هذه الأيروسولات بالطبع سوف تقلل كمية الاشعاع الشمسى التى تصل الى سطح الأرض وسوف تسبب تبريدا لطبقات الجو السفلية ٠

ومحصلة التسخين الناتج من البيوت الخضراء والتبريد الناتج من بخار الماء وثانى أكسيد الكبريت هى أن درجات حرارة الطبقات السفلى للجو سوف تبقى كما هى عليه الآن وأن الشبح الذى يخيفنا من نقص غاز الأوزون ليس له أى تأثير على الناحية المناخية وهذا الشبح فقط قد يكون له بعض التأثيرات البيولوجية على الأحياء حيث انه فى هذه الحالة تزداد أمراض السرطانات الجلدية والعيون هذا بخلاف تأثيراتها الضارة على النباتات ومعظم الكائنات الحية ٠

والطائرات الحديثة المختلفة تقذف بكميات كبيرة من أكاسيد النتروجين فى طبقة التروبوسفير وغالبا ما تسقط هذه الكميات مرة أخرى الى سطح الأرض بعد ذوبانها فى مياه الأمطار ٠ أما اذا حلقت الطائرات على ارتفاعات عالية بالقرب من طبقة الأوزون (عند

ارتفاعات ٢٥ كيلو مترا تقريبا) فان أكاسيدالنتروجين تهاجم طبقة الأوزون وتقلل من قيمة نسبة تركيزه فى الجو • وبينت بعض الحسابات أن طائرات البوينج التى تحلق عند ارتفاع ٢٠ كيلو مترا أو أكثر يمكن أن تؤثر فى طبقة الأوزون ـ وتسبب له نقصا يتراوح ما بين ٢٠ر الى ٣٠ر من الكمية الكلية للأوزون وذلك لأن هذه الطائرات وخاصة الطائرات النفاثة تبعث بعوادم ساخنة لدرجة أنها تساعد على نقص كمية الأكسجين النشط الموجود عند هذه الارتفاعات بسبب تفاعله (الأكسجين النشط) مع النتروجين وبالطبع سوف تنقص كمية الأوزون بسبب تكون أكاسيد النتروجين التى من شأنها التأثير على طبقة الأوزون •

الأوزون والانفجارات النووية :

تؤدى درجات الحرارة العالية الناتجة من الانفجارات النووية الى انتاج حامض النتريك الذى يؤدى بالتالى الى نقص فى كمية الأوزون فى مقابل هذا فان الأشعة فوق البنفسجية الناتجة من الكرات النارية (تشبه الشهب) تسبب انتاجا محليا لبعض الأوزون وهذا الانتاج يزول خلال بضعة أيام ويكون محصلة هذين التأثيرين هو نقص فى غاز الأوزون ومقدار هذا النقص يعتمد بدرجة كبيرة على الارتفاع الذى عنده يتم حقن الجو بحامض النتريك كما أنه يعتمد أيضا على انتشار الحامض وانتقاله مع الهواء المتحرك • وعموما فان

القياسات التي تمت بأجهزة كثيرة ومتنوعة ومختلفة باستخدام الأقمار الصناعية فشلت في اثبات أن الانفجارات النووية هى التى تسبب نقصا فى الكمية الكلية لغاز الأوزون ٠

الأوزون والأشعة الكونية :

الأشعة الكونية تسبب تأين الهواء وانتاج كمية من الأوزون وخاصة فى طبقة الاستراتوسفير السفلى عند المناطق القطبية وتتسبب الجسيمات الشمسية ذات الطاقة العالية التى تدخل الغلاف الجوى وتصل الى ارتفاع ٣٠ كيلو مترا فى انتاج كمية من أكسيد نتروجين ٠

فى أغسطس ١٩٧٢ حدث انفجار قوى فوق سطح الشمس أدى الى انطلاق بروتونات وصلت الى الغلاف الجوى بسرعة عالية أدت هذه البروتونات الى اضطراب محسوس فى كيمياء آلاستراتوسفير علاوة على ذلك فان الأشعة فوق البنفسجية فى الفجر القطبى (الوهج القطبى أو الاورورا) تنتج كميات كبيرة من أكسيد النتريك ولكن ليس من المحتمل أن يؤدى ذلك الى تغير محسوس فى مخزون الأوزون فى طبقة الاستراتوسفير ٠

بدون شك أن عدد البقع الشمسية أو الكلف الشمسى له تأثير ملحوظ على طبقة غاز الأوزون ٠ وللبقع الشمسية دورية تتكرر كل ٢٥ر١١ سنة وأصبح من

الصعب الآن انكار وجود علاقة قوية بين هذه الدورات الشمسية وكميات الأوزون خاصة وأنه تم عمل بحث فى هذا الشأن فى قسم الفلك والأرصاد الجوية بكلية العلوم جامعة القاهرة فى عام ١٩٧٩ م · وتم نشره فى مجلة الجمعية الفلكية المصرية كما أنه لا يمكن انكار العلاقة بين شدة الأنشطة الشمسية والبراكين · وقد سجلت الأقمار الصناعية شدة الأنشطة الشمسية مع خرائط الحرارة ودلت هذه الأرصاد على أن درجات الحرارة بدأت فى الارتفاع بصورة تدريجية ابتداء من عام ١٨٦٠ وحتى عام ١٩٤٠ ·

انطلقت التكنولوجيا وحققت تقدما يسر للانسان سبل قلب توازن الطبيعة المتمثل فى ذلك الوضع المعقد من التفاعلات البيولوجية والفيزيائية والكيميائية التى تشكل نسيج الحياة ·

فمع بزوغ فجر الثورة الصناعية بدأت مداخن المصانع تلفظ غازاتها الضارة فى الجو وأفرغت المصانع نفاياتها السامة فى الأنهار والترع وأسرفت السيارات فى استهلاك الوقود المستخرج من الحفريات والذى لا سبيل الى ابداله وأفسدت الهواء بما تطلقه من عوادم وباسم التقدم تم تجريد الغابات وتعريتها وكل هذه الأعمال التخريبية فى الجو تسبب تحولات مناخية محلية الى حد ما فبعض الملوثات تعمل فى الجو عمل البيوت الخضراء أى تساعد ثانى أكسيد الكربون بشدة فى

احداث زيادة في درجات الحرارة وان هذه الزيادة قد تزيد منسوب المياه في المحيطات والبحار كما أنها قد تساعد على زيادة جفاف الغابات . ونقص الأمطار واشتعال الحرائق واذا حدث ذلك فيكون التطور التكنولوجي جعل الانسان يدفع ثمن كل هذا الترف .

مما سبق جعل بعض العلماء يؤيدون فكرة آن الملوثات التي تطلق في الجو يمكن آن تغير مناخه ودليلهم على ذلك ضعيف لأنهم برهنوا على ذلك بوجود بعض الظواهر الفردية والتي تحدث لأول مرة في مكان ما أو أن الظاهرة تغير من شدتها في نفس المكان مثل الأعاصير المدمرة التي عصفت بمنطقة الكاريبي والفياضانات التي اجتاحت بنجلاديش والزلزال المدمر الذي وقع في أرمنيا ـ وظهور أمراض السرطان وأمراض المناعة (الايدز) والعيون وخلافه . فكل هذا ما هو الا تصورات متشائمة ونذر ليس له أساس سليم والبعض الآخر من العلماء يعارضون النظرية القائلة بارتفاع درجة الحرارة لكوكب الأرض بل ويعتبرونها فكاهة القرن العشرين حيث ان أي ارتفاع في درجة الحرارة ستوازنه زيادة في السحب العاكسة لدرجة الحرارة وقد يكون المتشككون على صواب ولكن من الخطورة والمخاطرة بمكان ما أن نقف مكتوفي الأيدي ولا نفعل شيئا في انتظار برهان مطلق على الكارثة .

وسواء أكانت هذه النظرية صحيحة أم خاطئة فان

حدثا لا يقل خطرا أو ضخامة عن هذا يوشك أن يقع فى هذه اللحظة التى نعيشها والتى تساعد على فناء بعض الكائنات الحية أو انقراضها وعلى كل حال فزيادة أو نقص غاز الأوزون لا تخيفنا من ناحية تأثيرها على المناخ لأنه تقريبا ليس لها أدنى تأثير عليه وان الاتزان الطبيعى يحاول أن يعدل ما يغيره الانسان فى المناخ . ولكن الخوف كل الخوف من الأضرار التى قد تنجم من الزيادة فى شدة الأشعة فوق البنفسجية نتيجة النقص لغاز الأوزون .

ومناخ الأرض كما ذكرنا سابقا لا يتأثر بسبب التغيرات الضئيلة حيث ان هذه التغيرات تضيع فى خضم التغيرات الطبيعية ومن مقتضى الحسابات المسندة للأوقات الجيولوجية وان فترة الزيادة التى حدثت لدرجات الحرارة سوف تنتهى قريبا وعلينا أن ننتظر عودة البرد الى الأرض وبذلك تكون الزيادة والانخفاض فى درجة الحرارة هما الأمران اللذان سوف يحددان فى القرون القادمة بشكل حاسم شرط حياة الانسان وتصرفاته وسوف نتناول بالدراسة كل أمر من هذين الأمرين على حدة .

الأمر الأول : الزيادة فى درجات الحرارة :

ان النماذج الرياضية الاحصائية المستخدمة فى التنبؤ تبين أن درجات الحرارة سوف ترتفع (نتيجة

حقن الغلاف الجوى بالملوثات وخاصة التى تكون خاملة وتعمل عمل البيوت الخضراء أو البيوت الزجاجية مثل ثانى أكسيد الكربون) فى العالم بحوالى ١ر٤ درجة مئوية الى ٥ر٥ درجة مئوية . واذا حدث ذلك فان الانسان سوف يجابه صعوبات كثيرة ناتجة عن تغير جذرى فى الطقس والمناخ (لقد بينا فيما سبق أن هذا لن يحدث) وعلى كل فعلى العالم أن يبدأ منذ اليوم بالبحث والتنقيب والتحقيق عما يمكن عمله كما لو كان هذا التغير سوف يحدث حتى نبتعد عن هذا الخطر وضرورة البحث عن بدائل استخدام الوقود التقليدى (الفحم) ولا سيما فى المناطق الاستوائية وينبغى أن تستثمر الطاقة بصورة فعالة فى السنوات القادمة .

وتبين نفس النماذج الاحصائية السابقة أنه فى حالة استخدام الغاز بدلا من الفحم فهذا سوف يؤخر الدفء حتى عام ٢٠٧٥ وحديثا أعلنت الولايات المتحدة الامريكية عن انتاج أنواع جديدة من الوقود مشتقة من زيوت بعض الخضراوات ومن بينها السبانخ والفاصوليا الخضراء والجزر وبهذا الاكتشاف نكون قد ضربنا عصفورين بحجر واحد حيث أننا استبدلنا أنواع الوقود المتوافرة حاليا والتى يؤثر عادمها على نقاء الجو واستخدام مثل هذه الزيوت سوف يقلل من نسبة السموم فى الجو ومن الناحية الأخرى فان زيادة الرقعة الخضراء سوف تساهم فى التغلب على مشكلة الزيادة فى ثانى أكسيد الكربون وبذلك نكون قد تخلصنا من شبح

زيادة درجات الحرارة والأضرار التى قد تنجم عنها فالحسابات تبين أن مثل هذه الزيادة قد تتسبب فى اغراق مساحة ٣٠٪ من المساحة الكلية لسطح الأرض وفى كندا يتم حاليا هناك انتاج أنواع جديدة من غاز الفريون ١٣٤ وفريون ١١ ، ١٢ وهى أنواع غير مضرة ومن المقرر فى تصوراتهم غمر الأسواق العالمية بهذه النوعيات من الفريون خلال السنوات الخمس القادمة هذا بجانب التوسع فى استخدام الغازات البترولية لانتاج الأيروسولات بدلا من المواد المحتوية على الكلوروفلوروكربون والتى ثبت تأثيرها على طبقة الأوزون ٠

الأمر الثانى : النقص فى درجات الحرارة ٠

فى الأزمنة الماضية كانت لا ترى الثلوج فى فصل الصيف فى بعض المناطق والبلدان فى خليج باقان شمال كندا وأصبحت هذه المناطق مغمورة بالثلوج والجليد ، وكذلك جزيرة جرين لاند اكتسبت اسمها لأن شواطئها كانت خضراء واليوم أصبحت مغطاة بالجليد ، والأسماك التى كانت تعيش فى المياه الشمالية أخذت تنتقل الى الجنوب ، ثم ان سفن المراقبة فى شمال الأطلنطى أشارت الى أن متوسط درجة حرارة المياه فى المدة الأخيرة انخفض بمقدار نصف درجة مئوية ومثل هذا النقص اذا استمر مع الزمن فسوف تسقط درجات الحرارة ويزداد البرد ويكثر الجليد فى المناطق القطبية وسوف

يؤثر هذا على البلدان الواقعة حول خط الاستواء حيث ان هذا سوف يقلل من كميات الأمطار هناك ويكثر بها الجفاف وتبدأ المجاعة وأحب أن أنوه الى أن هذا التغيير لا يمكن أن يحدث على أيدى الانسان نتيجة استخدامه للملوثات . وذلك لأن الانسان لا يستطيع خفض قوة الاشعاع الشمسى الصادر من الشمس الى الأرض . ولا يستطيع أن يجعل الأرض تمر بسديم من الغبار الفضائى وهذا السديم سوف يضعف الاشعاع الشمسى. ولا يستطيع أن يحرك محور دوران الأرض نحو الانخفاض من حين الى آخر وهذه الحركة تغير فى شدة الاشعاع الشمسى ولا يستطيع أن يغير من نسبة مساحة اليابسة الى المساحات المائية ولا يستطيع أن يفجر البراكين التى تقذف بغيوم من الغبار الذى يضعف قوة الاشعاع الشمسى ولا يستطيع الانسان أن يغير فى مجارى رياح الدورة العامة للجو وكذلك لا يستطيع تغيير مجارى المياه البحرية والأكثر من ذلك لا يستطيع أن يزود الصحارى بالماء ولا يستطيع عمل بحيرات مائية كثيرة ولا يستطيع نقل مجارى الأنهار ولا يستطيع اذابة ثلوج القطبين . ومن ذلك نرى أن الانسان أضعف ما يكون لكى يحاول أن يغير من صفات مناخ الأرض وأنه لابد أن تكون هناك قوة خارقة تفوق كل خيال وهى التى تتحكم فى المناخ وان الاتزان الطبيعى يحافظ على عمل دورات مستمرة لجميع عناصر المناخ فاذا وجد أن هناك عنصرا يزداد فى وقت ما فحتما ولابد أن يعود

مرة اخرى الى النقصان فى وقت متأخر والآن أصبح واضحا أنه قد يكون حدث تغير فى مناخ الأرض فيكون التغير قد حدث طبيعيا ولم يتدخل الانسان فى عمل هذا التغير بأى حال من الاحوال ٠

وعلى كل حال فان الأرض وجوها لم يبقيا على حالهما كما هما الآن فالأرض منذ بدايتها الأولى حينما كانت كتلة منصهرة من الصخر والغاز منذ ما يقرب من ٥ بليون سنة ومنذ ذلك التاريخ شهدت الأرض تحولات كثيرة تشكلت عليها قارات من اليابس وتحركت معا وانشقت وانفصلت عن بعضها وتعاقبت عليها عصور جليدية وارتفعت عليها سلاسل جبلية من باطن المحيطات واختفت كتل أرضية واسعة تحت الامواج ٠ وهناك تحولات سابقة طرأت على مناخ الأرض وصاحب هذا أيضا انقراض بعض الكائنات الحية مثل الديناصور فعندما سقط نيزك ضخم اصطدم بسطح الأرض وأثار سحبا مهولة من الغبار حجبت أشعة الشمس وأفنت النباتات والنتيجة أن الديناصورات ماتت جوعا ٠ ومما سبق سرده نستطيع أن نستنتج أن الأرض (وجوها) لن يبقيا الفترة المقدرة لهما (٥ بليون سنة أخرى) بدون تغير ويتنبأ العلماء بأن الشمس على مدى هذه الحقبة تكون قد استنفدت كمية كبيرة من وقودها الأيدروجينى ومن ثم تتمدد وتحرق الكواكب المحيطة بها بما فى ذلك كوكب الأرض وان استنفاد بعض وقود الشمس قد يؤدى الى نقص شدة الاشعاع الفوق البنفسجي اللازم

لتكون الأوزون وبذلك يسمح الجو لنفاذ الجزء الباقى من الاشعاع فوق البنفسجى والذى كان يمتص بواسطة جزئيات الأوزون وبذلك يمكن أن يحدث فاجعة أخرى على سطح الكرة الأرضية ·

والتنبؤ بالظواهر الجوية على المدى القصير مثل العواصف والمنخفضات والمرتفعات الجوية وسرعة واتجاه الرياح ودرجات الحرارة وكميات الأمطار وغيرها أصبح سهلا وخصوصا بعد استخدام الأقمار الصناعية وزيادة أعداد محطات الرصد الجوى وكذلك بعد التطور الهائل فى الحاسبات الآلية مما مكن العلماء من اعداد النماذج العددية لاستخدامها فى الحصول على تنبؤ قصير المدى وهذا التنبؤ لعدة ساعات أو لمدة أسبوع أما بالنسبة للتنبؤ طويل المدى فهو لفترة قد تمتد لأكثر من شهر وحتى الآن لم نحصل على نموذج عددى يعطى تنبؤا جيدا خصوصا فى الأماكن التى تحدث بها تغيرات جوية سريعة والأماكن الفقيرة فى محطات الرصد الجوى مثل القارة الأفريقية وعلى المحيطات وبصفة عامة فان النماذج العددية المستخدمة فى التنبؤات القصيرة والطويلة المدى حتى الآن لا تعطى تنبؤا صحيحا مائة فى المائة حتى فى البلدان والأماكن التى لديها امكانات تكنولوجية جيدة وحتى نحصل على تنبؤات جيدة نحتاج الى فترة زمنية طويلة يتم فيها زيادة عدد محطات الرصد الجوى وكذلك الزيادة من كفاءة وسعة الحاسبات الآلية ·
والآن هل يمكن التصديق بأنه يمكننا التنبؤ بزيادة أو

نقص درجة الحرارة خلال الخمسين سنة القادمة ؟ وهل وجود النقص في غاز الأوزون يكون هو السبب الرئيسى في تغير تلك الظواهر الجوية ؟ واذا كان صحيحا فما هو مقدار النقص الذى سوف يسبب تغيرا فى المناخ ؟ وهناك أسئلة أخرى كثيرة تحتاج الى اجابة وللاجابة على هذه الأسئلة نحتاج الى اعداد نموذج عددى احصائى جيد يعتمد على كميات هائلة من البيانات المتعددة لجميع المتغيرات الجوية مثل الرياح والضغط الجوى ودرجات الحرارة وأيضا كميات الأوزون ـ لفترات زمنية طويلة وقد يحتاج هذا الى فترة زمنية طويلة جدا قد تصل الى أكثر من خمسين عاما قادمة حتى يمكننا من تطبيق هذا النموذج والحصول منه على تنبؤ صحيح ومعرفة التغيرات التى سوف تطرأ على المناخ فى فترات زمنية أخرى قادمة من جراء التغيرات التى تحدث لغاز الأوزون ومن المعلوم الآن أنه لا توجد بيانات كافية نظرا لقلة عدد محطات الرصد الجوى وأن استخدام النماذج العددية الموجودة الآن تعتمد بشكل أساسى عند التنبؤ بدرجات الحرارة على متغير واحد وهو الكمية الكلية لغازالأوزون والعملية ليست بهذه البساطة ولكنها أكثر تعقيدا وتعتمد أساسا على جميع العناصر الجوية • وبتحليل بيانات الأرصاد السابقة احصائيا وجد أنه على المدى القصير توجد بعض التغيرات الجوية التى ما تلبث أن تعود على ما كانت عليه قبل ذلك بعد فترة زمنية •

نخلص من ذلك أن التنبؤ بالزيادة فى درجات

الحرارة فى عام ٢٠٠٠ وارتفاع منسوب المياه فى المحيطات والبحار نتيجة لتحول كمية من الجليد عند القطب الشمالى والجنوبى وهذا سوف يؤدى الى اغراق الكرة الأرضية ولكن هذه النتيجة مشكوك فيها وغير مؤكدة وذلك للأسباب التى ذكرناها آنفا ولكن مع استخدام الأقمار الصناعية وكذا النتائج والآراء والمقترحات وكذلك الاستعانة بالنماذج الرياضية الاحصائية للتنبؤ بتغير الحالة الجوية للمساحات الشاسعة فسوف تكون هذه النتائج صحيحة بدرجة معقولة أما اذا استخدم هذا النموذج للتنبؤ للمساحات الصغيرة ولفترة زمنية طويلة تصل الى عشرات السنين فهذه النتيجة غير مؤكدة ومشكوك فيها فكيف تصدق أن درجة الحرارة سوف ترتفع ثلاث أو أربع درجات فى عام ٢٠٣٠ .

لاحظنا فيما سبق أنه لا يمكن الاعتماد على نتائج النماذج الرياضية ولذلك نشأت مشكلة كبيرة عند مقارنة أرصاد الأوزون مع نتائج النموذج الرياضى لعدم توافقهما . ومعظم التنبؤات بنيت على أساس أن تأثير غازات الغلاف الجوى على تغيرات غاز الأوزون ضعيف لدرجة أن النماذج الرياضية لا تأخذ هذا التأثير فى الاعتبار كما أنها تأخذ فى الاعتبار أن الكمية الكلية لغاز الأوزون يمكن أن تتغير فى الحالة الطبيعية بمقدار ٦٪ فى العام .

في الفترة ١٩٧٠ ــ ١٩٨٤ استخدمت أجهزة علمية حديثة لقياس الكمية الكلية لغاز الأوزون وبتحليل هذه الأرصاد احصائيا تبين أن غاز الأوزون يتغير من خط عرض الى آخر وأن نسب تركيز هذا الغاز عند أى ارتفاع تتغير أيضا على حسب خطوط العرض ٠

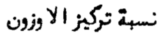
ان أرصاد الأجهزة المحمولة بالبالونات والأقمار بينت أن هناك نقصا لتركيز غاز الأوزون فى طبقة الاستراتوسفير وزيادة التركيز فى طبقة التروبوسفير وهذه النتائج كانت موافقة الى حد ما مع نتائج النماذج الرياضية ولكن كما تعلم أن عدد المحطات التى تستخدم الأقمار الصناعية والبالونات هو عدد محدود لدرجة تجعلنا لا نعتمد على هذه الأرصاد والتأكد من صحة استخدام النماذج الرياضية فى التنبؤات ٠ وبتحليل بعض أرصاد الأوزون التى أخذت بأجهزة مختلفة تبين أن تركيز غاز الأوزون فى الفترة الزمنية ١٩٧٠ ــ ١٩٨٠ وعند ارتفاع ٣٥ كيلو تقريبا قد قلت بمعدل ٥ر٢ من قيمتها العادية وهذه النتائج أيضا تتوافق مع نتائج النموذج الرياضى وعلى العموم فهذه النتائج لم تثبت صحتها الى الآن وغير مؤكدة ولا يمكن الاعتماد عليها فى التنبؤ بمعرفة الكمية الكلية لغاز الأوزون أو أى غاز آخر فى المستقبل ٠

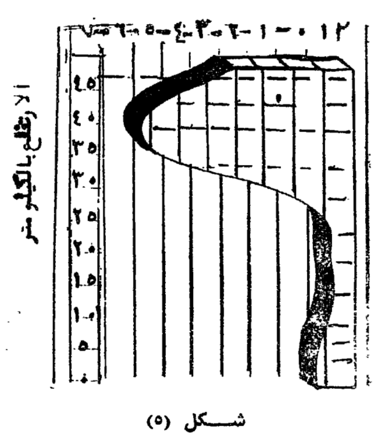
توجد عدة نماذج احصائية يمكن استخدام احداها للتنبؤ بتغيرات الكمية الكلية لغاز الأوزون المستقبلية فى الغلاف الجوى كما يمكن استخدام هذه النماذج أيضا

فى حساب التوزيع الرأسى لغـاز الأوزون . والنتـائج التى نحصل عليها من هذه النماذج هى نتائج متفقة فقط مع الاتجاه العام لمنحنيات الأوزون المرصودة ومختلفـة فى القيم التى عن طريقها يمكن الحصـول على تنبؤات تصل دقتها الى درجة عالية .

ونلاحظ أن النمـاذج الـرياضية ترى أن زيادة كميات الكلوروفلوروكربون وأكسيد النتروجين يحدثان نقصا للكمية الكلية لغاز الأوزون وأنه اذا ظل انتـاج واستخدام مادة الفلوروكلوروكربون كما كانت عليـه فى عام ١٩٨٠ وظلت تركيزات المواد الكيميائية الأخرى ثابتة فى الجو فان هذا سـوف يؤدى الى نقص الكميـة الكلية لغاز الأوزون بحوالى ٧٪ من الكمية الطبيعيـة وعندما تنقص كمية الأوزون فسوف يؤدى هـذا الى ارتفاع النهاية العظمى لتركيز الأوزون من ٢٠كيلومترا الى ٢٥ كيلومترا هذا وسوف تقل نسبة تركيز الأوزون بمقـدار ٦٠٪ من قيمتهـا الطبيعية عنـد ارتفاع ٤٠ كيلومترا (شكل ٥) .

أما اذا إستخدم نفس النموذج وسمح لثانى أكسيد النتروجين بالازدياد بمقدار ٢٠٪ وظلت تركيزاتالمواد الأخرى ثابتة فسـوف يؤدى هـذا الى نقص فى كميـة الأوزون قد يصل الى ٢٪ من قيمته الطبيعية . (شكل٦) واذا تضاعفت كمية غاز الميثان فى الغلاف الجوى فسوف يؤدى هذا الى زيادة الكمية الكلية لغاز الأوزون بمقدار

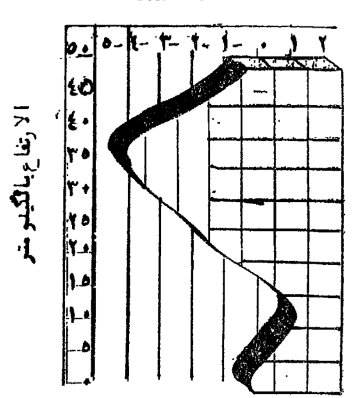




شـــكل (٥)

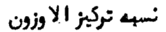
يوضح نقص نسبة تركيز الأوزون بمقدار ٤٠٪ من قيمتها عند ارتفاع ٤٠ كيلومترا عندمـا يزداد انتـاج الكلوروفلوروكريون بمقدار ٥ر١٪ سنويا ٠

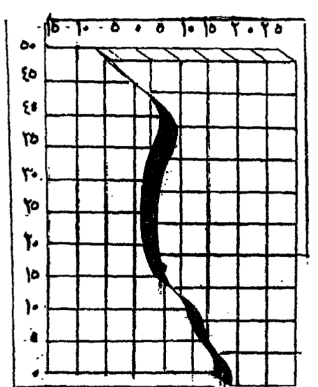
نسبه تركيز الأوزون



شـــكل (٦)

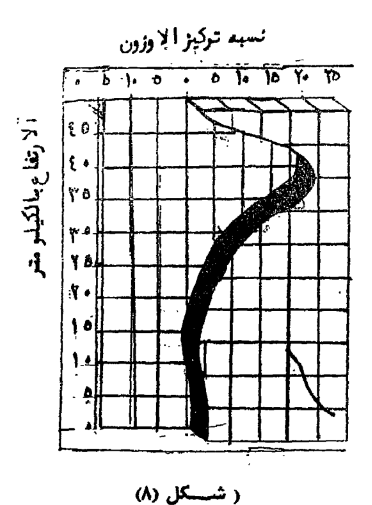
يوضــح نقص نســـبة تركيز غاز الأوزون بمقدار ٢٪ من قيمتها عنـــد ارتفـــاع ٣٧ كيلومترا عندما يزداد أكسيد النتروجين بمقدار ٢٠٪ .





شـــكل (٧)

يوضـــح زيـادة نسبة تركيز الأوزون بمقـــدار ٣٪ من قيمتها عنـــد ارتفـاع ٣٥ كيلومترا عندما تضاعف كميته الميثاق الموجودة فى الجو .



(شـــكل (٨)

يوضـح زيادة نســـبة تركيز الأوزون بمقدار ٣٪ عند ارتفاع ٤٠ كيلومترا عندما تضاعف كمية ثانى أكسيد الكربون فى الجـو •

٣٪ من قيمتها الطبيعية (شكل ٧) والسبب في ذلك أن غاز الميثان يتفاعل مع ذرات الكلور النشطة التي تهاجم جزئيات الأوزون حيث ان الذرة الواحـدة من الكلـور النشط يمكنها تدمير وتحطيم مايربو على مائةألف جزىء من غاز الأوزون كما أنها تخرج من هـذا التفاعل دون أدنى تغير وتكون بذلك اشتركت في التحطيم كما لـو كانت عاملا مساعدا تدخل فيالتفاعل ونخرج منه بدون أى تغيير يطرأ عليها .

وباستخدام النماذج الرياضية التي تسـمح بتغير غاز ثاني أكسيد الكربون وزيادته الى الضعف فان هذا سوف يؤدى الى زيادة الأوزون بمقدار ٣٪ وهذا يحدث لأن ثاني أكسيد الكربون يعمل عمل البيـوت الخضراء (البيوت الخضراء تسـمح بدخـول أشـعة الشـمس ولا تسمح بخروجها) في طبقة التروبوسفير حيث انه يمتص الموجات الطويله الآتيه من الأرض ولا يسمح لها بالوصول الى طبقه الاستراتوسفير وبذلك ترتفع درجة حرارة التروبوسفير وتقل درجة حرارةالاستراتوسفير . وحيث ان معدل سرعة التفاعلات الكيميائية تعتمد بشدة على درجات الحرارة فيمكن القول ان غاز ثاني أكسيد الكربون يسبب زيادة لغاز الأوزون (شكل ٨) .

والآن نستخدم للتنبؤ بعض النماذج الرياضيه التي تشمل على عدة عوامل متغيرة ولسهولة الحسابات نثبت كل المتغيرات ونسمح لعنصر واحد فقط بالتغير وهـذا

غير صحيح • لأن ليس بالضرورة احتواء النماذج الاحصائيه على قيم نسب تركيز هذه الغازات فى الجو بل يجب أن تشمل على عناصر توضح مدى تفاعل هذه الغازات بعضها البعض •

الى أنه اذا استمرت زيادة الكلوروفلوروكربون بمقدار ٥ر١ ٪ سنويا فهذا يؤدى الى نقص الأوزون محليا ونقص نسبة تركيزه عند ارتفاع ٤٠ كيلومترا بمقدار ٤٠٪ من قيمتها العادية • وتشير أيضا بعض النماذج الاحصائية الى أنه عند زيادة انتاج واستخدام الكلوروفلوروكربون بمعدل ٢٥ ٪ سنويا حتى عام ٢٠٠٠ فهذا سوف يؤدى الى نقص فى الكميه الكليه لغاز الأوزون بمقدار ٢٦٪ وأن علاج هذا النقص سوف يكلفنا مبالغ باهظة •

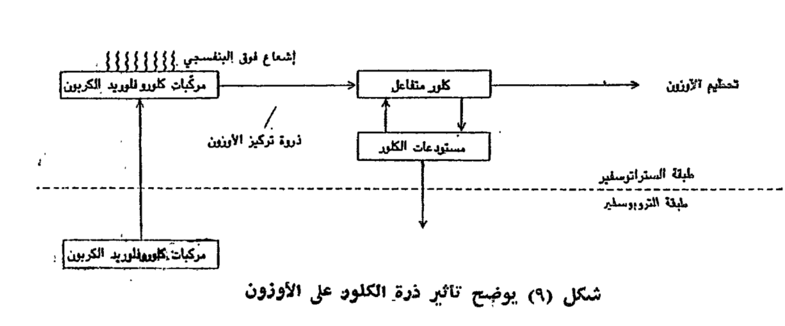
الأوزون والديناميكا الجوية :

التغيرات الديناميكية الجوية قد تلعب دورا مؤثرا ينبع من حقيقة أن الجو ليس ساكنا بل هو مائع ثلاثى الأبعاد يتحرك على الدوام لا يتغير فيه مكان الأوزون وكميته فقط فحسب بل أيضا مكان وكميات جميع المواد الكيميائية التى تؤثر فيه •

ويرى بعض العلماء أن حركة الهواء توفر التعليل المعنوى القوى ويبدو من المحتمل فى هذه الحالة أن الهواء الفقير بالأوزون يتحرك الى المنطقة القطبية

والجنوبية مؤقتا ربما من الجزء السفلى من الاستراتوسفير ويسبب ذلك نقصا فى غاز الأوزون (الثقب الأوزونى) ومن ناحية أخرى فحين قاس الباحثون تركيزات الغازات التى بفحصها تعرف حركة الهواء فانهم لم يجدوا دليلا لاندفاع هواء باستمرار الى أعلى على نطاق واسع فى طبقة الاستراتوسفير ٠

ويلاحظ أن كميات الأوزون المقاسة فى فصل الربيع لطبقة الاستراتوسفير قد هبطت فى كل المنطقة الواقعه جنوب خط عرض ٤٥° فى نصف الكرة الجنوبى وأن الانخفاض فى دوران الهواء من درجات خطوط العرض المعتدلة لابد أن يكون قد أسهم فى هذا الهبوط وعلى سبيل المثال فان الهواء المستنزف كيميائيا من الدوامة القطبية قد يمتزج بالهواء فى المنطقة المحيطة الأمر الذى ينجم عنه خسارة صافية فى الأوزون ٠ وأكثر الظن أن مركبات كلوروفلوريد كربون هى التى تسهم اسهاما فعالا فى انقاص الكمية الكلية لغاز الأوزون أو أنها تسبب النقص للأوزون ففى طبقة التروبوسفير تظل مركبات الكلوروفلورو كربون خاملة وترتفع الى أعلى حتى تصل الى طبقة الاستراتوسفير العليا فوق المنطقة التى تبلغ فيها تركيزات الأوزون ذروتها ويكون الاشعاع فوق البنفسجى هناك شديدا لدرجة تكفى لتفكك جزئيات الكلوروفلوروكربون منتجة ذرات الكلور وتقوم هذه الذرات بمهاجمة الأوزون وتؤدى هذه العملية الى احداث نقص فى غاز الأوزون ٠ وتنتهى الآثار التحطمية



شكل (٩) يوضح تأثير ذرة الكلور على الأوزون

للكلور عند اتحاد الذرات بموادآخرى وتكون مستودعات من الكلور المستقر وقد تتفكك هذه الجزئيات لوجود الحرارة أو الضوء معيدة الكلور الى الاستراتوسفير حيث تزيلها من الجو عمليات كثيرة ومتنوعة انظر شكل(٩).

وتشير النتائج الحديثة الى أن مركبات الكلوروفلورو كربون لابد أن يكون لها حتى الآن أثر ضئيل فى احداث النقص للأوزون وكذلك الظواهر الجوية الفريدة التى تسود فى منطقة القارة القطبية مثل الدوامة القطبية ودرجات الحرارة الاستراتوسفيرية القارسة البرودة والسحب الاستراتوسفيرية القطبية تسهم اسهاما فى احداث النقص .

من كل هذا نرى أن وجود نقص الأوزون فى نصف الكرة الجنوبى قد يكون ظاهرة محلية لن تعيد نفسها فى المناخات الأدفأ والديناميكيا الجوية لم نستطع تفسيرها .

ان هناك أمرا واحدا واضحا ألا وهو أن مركبات الكلوروفلورو كربون قادرة على تغيير كميات الأوزون فى الجو . وفضلا عن ذلك فان الكلور الذى تم ادخاله فى طبقة الاستراتوسفير سيتفاعل مع الأوزون لعدة عقود قادمة .

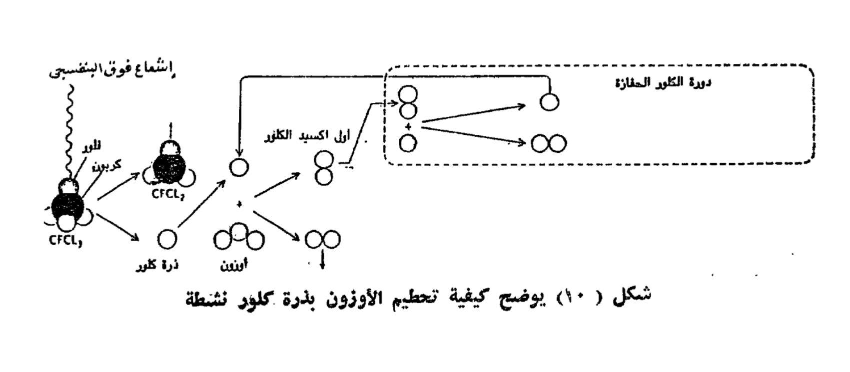
الأوزون ينقص فى القارة القطبية الجنوبية فقط :

فى عام ١٩٨٥ أعلن فريق من العلماء الانجليز أنهم اكتشفوا ظاهرة مدهشة فى القطب الجنوبى وهى

وجود نقص لغاز الأوزون هناك بعدها بدأت دراسات تجريها مؤسسات الفضاء الأمريكيه وذلك بالرجوع الى السجلات التى تحوى الأرصاد القديمة عن طبقات الجو العليا فوجدوا أن هذه الظاهرة تتكرر منذ عدة سنوات ولم ينتبه أحد اليها . وكان الظن أن الذى يسبب نقص الأوزون هى مكونات النيتروجين التى تخرج من عادم الطائرات الأسرع من الصوت حيث ان هـذه الطائرات تحلق على ارتفاعات الاستراتوسفير حيث توجد طبقـة الأوزون وسوف نبين فيما يلى أن هذه العملية ليست لها أدنى تأثير على طبقة الأوزون .

وهناك نوعان رئيسيان من التفاعلات يعتقد أنهما يتدخـلان فى عملية تحطيم الأوزون عـلى الأقل عنـد الارتفاعات المتوسـطة . ففى احـدى الحالات يتفاعل أول أكسـيد الكلور مع أكسـيد النتريك وتنتقل ذرة الأكسجين من أول أكسيد الكلور الى أكسـيد النتريك منتجة ذرة كلور طليقة وأكسيد النتروجين (ن ا٢) .
وعندما يمتص ثانى أكسيد النتروجـين الضوء المرئى فانه يحرر ذرة أكسجين تكون عند ذلك جاهزة لأن تعيد توليد الأوزون مرة أخرى انظر شكل(٩) وتكون محصلة هذهالتفاعلات عدم حدوث تغير فى مستوى الأوزون .

تنتشر السحب الاستراتوسفيرية فى منطقة القـارة القطبية الجنوبية بشكل أوسع من انتشارها فى القطب الشـمالى . وتتـكون هـذه السـحب فى المنطقـة



شكل (١٠) يوضح كيفية تحطيم الأوزون بذرة كلور نشطة

الاستراتوسفيرية وخاصة فوق القارة القطبية الجنوبية بسبب الانخفاض الشديد في درجات الحرارة في فصل الشتاء (تنخفض درجة الحرارة الى ما دون ـ ٨٠° م) وهذا الانخفاض يسبب تكثيف وتجميد بخار الماء وربما غازات أخرى مثل حمض النتريك وقد رأى بعض العلماء أن هذه السحب قد تساعد على تحطيم مستودعات الكلور مطلقة ذرة الكلور النشطة لتحطيم الأوزون عندما يبدأ فصل الربيع وهذا تفسير تغير حدوث النقص لغاز الأوزون في قارة القطب الجنوبي دون غيرها • حيث تتكثف وتتجمد مركبات النتروجين أثناء فصل الشتاء وتكون مختلطة مع جسيمات السحب الاستراتوسفيرية وتصبح عند ذلك غير متوافرة للتفاعل مع الكلور وفي الوقت نفسه فقد تساعد الجسيمات في السحابة لتحويل مستودعات الكلور الى كلور نشط وفي ظلام الشتاء القطبي فان العديد من العمليات الكيميائية تتوقف في واقع الأمر تماما • على أية حال فمن الممكن لجسيمات هذه السحب أن تلتقط وتعدل مخزون الكلور الرئيسي تعديلا بطيئا وبذلك تهيىء التفكك السريع لأول أكسيد الكلور حين تبدأ الشمس بالسطوع •

ان وجود قدر معقول من البروم في السحب الاستراتوسفيرية القطبية قد يساعد في التعويض عن نقص ذرات الأكسجين الطليقة وهذه المادة الكيميائية (البروم) تطلق الى الجو من مركب بروم المثيل الموجود عادة في الطبيعة ومن مصادر الدخان والغازات وبعض

مطافىء الحريق ويمكن للبروم أن يتفاعل مع الأوزون ويكون أول أكسيد البروم وجزىء الأكسجين كما أنه يمكن لأول أكسيد البروم أن يتفاعل بدوره مع أكسيد الكلور كي يكون جزىء أكسجين آخر يطلق ذرات حرة من البروم وتكون النتيجة هى تحويل الأوزون الى أكسجين . وعلى العموم فالأرصاد تبين أن تركيز البروم قد لا يكون عاليا فى طبقة الاستراتوسفير القطبية .

الأوزون والكلوروفلوروكربون :

تم تخليق الكلوروفلوروكربون لأول مرة فى عام ١٩٢٨ على يد مجموعة من علماء شركة جنرال موتورز الأمريكية وفرح العالم بتخليقها لأن هذه المادةالكيميائية الفريدة تتألف من الكلور والفلور وذرات الكربون وتتميز بأنها غير سامة وخاملة بمعنى أنها لا تتحد بسهولة مع المواد الأخرى ونظرا لأنها تتبخر عند درجة حرارة منخفضة فان الكلوروفلوروكربون يعتبر مادة تبريد ممتازة فى الثلاجات وأجهزة تكييف الهواء وفى علب الرش عند تطاير الغازات منها بقوة الاندفاع كما أنها تستخدم فىالعبوات التى ترش البويات والكولونيات والمبيدات الحشرية وكدافعات لرذاذات الغازات أو الأبخرة المضغوطة فى وعاء وكمنظفات للقطع الالكترونية . والكلورفلوروكربون عازل جيد ولذلك فهو يعتبر مادة قياسية لصناعة خامة البلاستيك الرغوى

مثل الاسترين الرغوى وعلى العموم فالكلورفلوروكربون مادة سهلة التصنيع ورخيصة الثمن ٠

ان كثيرا مما يصل من الكلورفلوروكربون الى الغلاف الجوى ليس مصدره المصانع وانما مصدره أعمال تشبه الاستخدام المفرط للعلب المصنعة من البلاستيك الرغوى اذ عند كسر مثل هـذا النـوع من العلب ينطلق منهـا الـكلوروفلوروكربون المختزن بداخلهـا كذلك فان الثـلاجات وأجهزة التبريد الملقـاة فى العـراء لعـدم صلاحيتها ينطلق منها الكلوروفلوروكربون ولوحظ أن جزءا كبيرا من الكلوروفلوروكربون ينطلق فى الجو من ارتشاح أجهزة تكييف هواء السيارات وترك المادة فى أوعية حيث تتبخر ٠

حين تنطلق مادة الكلوروفلوروكربون فى الغلاف الجوى يكون أثرها قاتلا ومدمرا للبيئـة فان الجـزىء الواحد منه أقوى من جزىء ثاني أكسيد الكربون عشرين ألف مرة فى احتجاز الحرارة ٠

ومشكلة أخرى أكثر مباشرة وهى أن الكلورالمنطلق عنـدما تتنـاثر جزئيـات الكلوروفلوروكربون يدمر جزئيات الأوزون والمعروف أن طبقة الأوزون الموجودة فى الغلاف الجوى على ارتفاع يتراوح ما بين ١٦ ـ ٣٦ كيلومترا وأن هـذه الطبقة ضرورية لبقـاء الانسـان والنباتات والحيوانات وذلك لأن جزىء الأوزون الذى يتألف من ثلاث ذرات أكسجين يمتص غالبية الأشعة فوق

البنفسجية الصادرة عن الشمس وهذه الأشعة شديدة الخطورة بالنسبة للحياة على سطح الأرض ٠

وتعتبر مادة الكلوروفلوروكربون مادة خاملة وان عامل الخمول نفسه يجعل الكلوروفلوروكربون آمنا فى الاستخدام الصناعى مما يجعله يعمر فترة طويلة جدا ذلك أن بعض الكلوروفلوروكربون الذى يطلق اليوم مثلا سوف يبقى فى الغلاف الجوى لمدة قرن من الزمان زد على هذا أن كل ذرة من الكلوروفلوروكربون يمكنها أن تحطم ما يقرب من مائة ألف جزىء من الأوزون قبل أن تفقد فاعليتها أو تعود فى النهاية الى طبقة التروبوسفير حيث يتسبب التساقط (الهواء والمطر وخلافه) وعمليات أخرى فى ازالتها من الجو ٠

وحتى الآن فتأثير مركبات الكلوروفلوروكربون ضئيل على طبقة الأوزون المحيطة بسطح الأرض ٠ واذا كان العلماء يفسرون نقص الأوزون الذى يصل الى ٤٠٪ من كميته الكلية فى فصل الربيع فى القطب الجنوبى فهذا يعنى بأنه اذا كان الكلورالآتى من مركبات الكلوروفلوروكربون هو المسبب لهذا النقص فان التفاعلات التداخلية العادية تتضاءل بطريقة ما خلال فصل الربيع بالنسبة للقارة القطبية الجنوبية وتترك الفرصة لذرات الكلور لمهاجمة غاز الأوزون وتحطمه ٠

يؤثر غاز الكلور على طبقة الاتزان الأوزونى الموجودة فى طبقة الاستراتوسفير ويؤدى تأثيره الى نقص

كمية الأوزون عند هذه الارتفاعات نتيجة أن غاز الكلور يقوم بعملية تسريع تحول الأوزون الى مركباته الأوكسجينية والأهم من ذلك أن الكلور مثله مثل أكاسيد النتروجين يقوم بدور العامل المساعد أى أنه لا يتغير خلال تحطيم الأوزون .

فعندما تصطدم ذرة الكلور (كل) بجزىء الأوزون فهذه تسلب جزىء الأوزون الذرة الثالثة منه ويكون ناتج هذا الاصطدام هو تحول الأوزون والكلور الى أول أكسيد الكلور (كل أ) وجزىء أكسجين وعند التقاء أول أكسيد الكلور بذرة الأكسجين الطليقة تنطلق ذرة كلور مرة ثانية وتبدأ من جديد بتحطيم الأوزون . شكل (١٠) .

الأوزون والبراكين :

ان منظور السماء الأحمر الذى رصد من سطح الأرض وكذلك من الطائرات وقت الغسق ماهو الا تأكيد مرئى على الأيروسولات المنطلقة من بركان الشوشان (المكسيك) فى طبقة الاستراتوسفير أثناء ثورته فى مارس ١٩٨٢ . وقد استمرت هذه الظاهرة طوال الجزء الأكبر من عام ١٩٨٢ على المناطق المدارية فى نصف الكرة الشمالى وظهرت هذه السمات أيضا فى خطوط العرض المعتدلة (٤٥° ـ ٦٠°) شمالا وكذلك خطوط العرض العالية فى فصلى الربيع والصيف لعام ١٩٨٣ .

وكان من المتوقع أن يكون تأثير هذا البركان على طبقة الاستراتوسفير أكبر من أى بركان حدث خلال الأعوام السابقة الأخيرة • وقد أثبتت القياسات بواسطة أشعة الليزر أن التغير فى محتوى الأيروسولات من الفترة الساكنة (١٩٧٥ ـ ١٩٧٩) الى الفترة النشطة أن الثورات البركانية هى التى تطلق بكميات كبيرة من الملوثات فى طبقة الاستراتوسفير •

ولقد لوحظ أن بركان الشوشان قد قذف أثناء ثورته كميات كبيرة من ثانى أكسيد الكبريت وتقدر بعشرات الملايين من الأطنان فى طبقة الاستراتوسفير ويستمر تأثير ثانى أكسيد الكبريت فيها فترة طويلة من الزمن وقد تصل الى عدة سنوات وثانى أكسيد الكبريت يتحول الى حامض كبريتيك فى الجو •

والتأثير الأساسى لسحابة حامض الكبريتيك ينشأ نتيجة التبعثر أو الامتصاص للاشعاع الشمسى بواسطة هذه السحابة وتكون محصلة هذا هو زيادة درجات الحرارة للاستراتوسفير فى الطبقة القريبة من سطح الأرض ولقد لوحظ أيضا أن شدة الاشعاع الشمسى قد نقصت عن قيمتها العادية بعد ثوران البركان (الشوشان) ولقد تم قياس هذا النقص فى مرصد مونالو بهاواى وشمال الباسيفيك ولوحظ ان الاشعاع قد قل بشكل ملحوظ فى ابريل ١٩٨٢ هذا بمقارنة قيمته المتوسطة خلال فترة ٢٦ سنة واستمر هذا النقص بعد حدوث

ثوران البركان لمدة ١٤ شهرا كما أنه لوحظ أيضا أن شدة الاشماع تقل عن معدلها العادى (متوسط ٢٦ سنة) فى خلال عام ١٩٦٣ .

فى اغسطس ١٩٨٢ وجد آن سحابة من الأتربة فى طبقه الاستراتوسفير (بداية من ارتفاع التروبوبوز وحتى ٣٣ كيلومترا) تغطى المنطقة الواقعة بين خط عرض ١٠ جنوبا وحتى ٣٠ شمالا . وآن معظم ثانى أكسيد الكبريت قد تحول الى حامض كبريتيك .

وفى نهاية الأمر سوف تصل معظم السحابة الترابية هذه الى الأرض فى صورة أمطار حمضية ولكنها تنتشر بدرجة كبيرة لدرجة أنه من الصعب الكشف عنها فى المصادر الطبيعية الأخرى . ونظرا لخواصها الاشعاعية فان آثار تأثير الأيروسولات قد ظهرت مع قياس درجات الحرارة لمستوى سطح البحر .

واحتمال تغير المناخ على سطح الأرض مرتبط ارتباطا وثيقا بتغير كمية غاز الأوزون فى طبقة الاستراتوسفير على المناخ ضعيف وقد يكون معدوما . والزيادة فى كمية الأوزون فى طبقةالتروبوسفير يتبعها زيادة فى امتصاص موجات الأشعة الطويلة الخارجية من سطح الأرض وخاصة موجات دون الحمراء عند الموجات التى ستوسط أطوالها ٩٦٠٠ أنجستروم . وبذلك يكون تأثير الأوزون فى الجو فى هذه الحالة مثل ثانى أكسيد الكربون وثانى أكسيد النتروجين والكلوفلورميثان .

وأثبتت الدراسات السابقة أن الثورات البركانية تسبب نقصا في درجة الحرارة في حدود نصف درجة أثناء الأشهر القليلة الأولى من الثورة البركانية على خطوط العرض القريبة من الانفجار وهذا التبريد يتأخر من ٦ ـ ١٣ شهرا في حالة الثورات البركانية البعيدة ·

وظهرت آثار تأثير ثوران الشوشان بوضوح عن طريق قياس الكمية الكلية لغاز الأوزون باستخدام جهاز دويسون سيكتروفوتومتر كما يتوقع أن الثورات البركانية تؤدى الى نقص فى الكمية الكلية لغاز الأوزون نتيجة لقذف مركبات الكلور ·

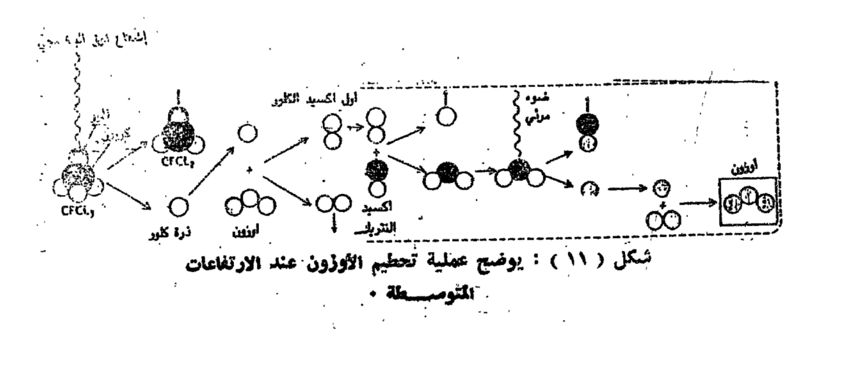
وفى خلال عام ١٩٨٢ وحتى بداية ١٩٨٣ وجد بالفعل أن كميات غاز الأوزون قد نقصت بشكل مختلف عن نقصه أو زيادته العادية التى تظهر فى أرصاده السابقة وحدث ذلك على عدة محطات فى أمريكا الشمالية وأوروبا واليابان · وظهر نقص فى كمية الأوزون الموجودة فى طبقة الاستراتوسفير فى أواخر مارس وأوائل أبريل ١٩٨٢ وكان ذلك نتيجة لقذف بركان الشوشان للأيروسولات فى الاستراتوسفير فى أوج ثورته ·

ونذكر تبعا لبحث الموضوع أن الاشعاع الشمسى انخفض فى الفترة (١٩٦٣ ـ ١٩٧٠) عندما انفجر بركان جبل أجونج فى عام ١٩٦٣ وقذف بكميات كبيرة

من الغبار الى الغلاف الجوى حجبت أشعة الشمس وأضعفت مفعولها وبقى مفعول الأشعة فى ارتفاع وانخفاض بسبب حجبه بالغبار حتى ١٩٧٠ حيث عادت الأمور الى مجاريها بسبب التوازن الطبيعى واذا كانت الكمية الكلية لغاز الأوزون كانت قد قلت أثناء هذه الفترة فسوف تعود الى ما كانت عليه وكان فى الامكان أن يسمى هذا النقص بالثقب الأوزونى ٠

ويمكن حدوث هذا النقص أو المسمى بالثقب لغاز الأوزون نتيجة قذف الملوثات فى الهواء بدون حساب وخاصة الملوثات الخاملة التي يستمر وجودها فى الهواء لعدة سنوات وتوجد بعض الملوثات التى يستمر وجودها فى الهواء لأكثر من مائة عام ويمكن للهواء أن ينقلها الى طبقة الاستراتوسفير حيث تزداد شدة الأشعة فوق البنفسجية وهناك تصبح هذه المادة نشطة كيميائيا وتطلق الكلور النشط الذى يعوق تكون الأوزون ويسرع من تفككه ٠

وتتضمن كيمياء الكلور عمليات تساعد على تحطيم غاز الأوزون ـ وعمليات أخرى تعرقل وتعوق هذا التحطيم انظر الشكل (١١) ومن الشكل يتضح أن ذرة الكلور لا تستهلك بل هى تشترك فى التفاعل كعامل مساعد حيث انها تتحد أولا مع ذرة الاكسجين (تأخذها من جزىء أوزون) مكونة أول أكسيد الكلور وجزىء أكسجين مستقرا وعند اصطدام أول أكسيد الكلور بذرة



شكل (١١) : يوضح عملية تحطيم الأوزون عند الارتفاعات المتوسطة .

أكسجين أخرى تتحد ذرتا الأكسجين بسرعة محررة ذرة الكلور كي تبدأ من جديد في تحطيم جزيء أوزون ٠

وهناك عمليات أخرى أو تفاعلات أخرى حيث انه يمكن لثاني أكسيد النتروجين أن يرتبط بأول أكسيد الكلور ليكونا مستودعا من نترات الكلور وحين يكون الكلور مقيدا بهذه الطريقة فلا يمكنه التفاعل مع الأوزون ٠

ويوجد مصدر آخر للتفاعل وهو أكسيد النتريك الذى يأخذ ذرة الأكسجين من أول أكسيد الكلور ويمتص الضوء المرئى ويعبر توليد الأوزون انظر شكل (١١) وتوحى التعليلات الكيميائية للنقص فى غاز الأوزون أن الظروف المناخية الفريدة في القطب الجنوبى تقلل مثل هذه التفاعلات الى الحد الأدنى تاركة مجال تحطيم الكلور للأوزون هناك ٠

الأوزون والبرق :

عرف الناس منذ قرنين من الزمان الرائحة الخانقة التى تميز غاز الأوزون حيث ان هذه الرائحة تحدث عندما تمر شرارة كهربائية قوية فى الجو ومثل هذه الرائحة تنشأ أيضا فى المعامل التجريبية والتكنولوجية وهذه الشرارة الكهربية قد تحدث فى الجو نتيجة حدوث البرق وقد يذهب ضوء البرق بالأبصار ، ويتكون البرق نتيجة لوجود البرد داخل السحب ونزوله أو تذبذبه

بين طبقتين مشحونتين مما يؤدى الى ارتفاع كمية الكهرباء على السحب المتراكمة الى درجة تؤدى الى حدوث تفريغ كهربى هائل قد تصل شرارته الى ثلاثة أميال فى طولها محدثة برقا تصل فيه درجة الحرارة الى الابيضاض فيؤدى الى تمدد الهواء فجأة فى المنطقة المفرغة فتبرد برودة شديدة فيتكاثف ما فيها من البخار (من كتل السحب) فينزل على الأرض اما مطرا واما بردا حسب مقدار البرودة الحادثة فى تلك المناطق كما أن التمدد الفجائى للهواء يحدث صوتا يدعى الرعد يتردد بالانعكاس بين كتل السحاب مسببا صوتا عنيفا ٠

وفى سنة ١٩٤٥ م ٠ بين العالم دويسون أنه عند تكون السحب الرعدية فان الكمية الكلية لغاز الأوزون يمكن أن تتضاعف حيث ان السحب الرعدية تكون مصاحبة للجهات الباردة التى تقوى الحركة الرأسية للهواء الى أسفل وهذه الحركة هى التى تسمح لانتقال الغاز من الارتفاعات الغنية به الى الارتفاعات التى تفتقر اليه ٠

ولقد لوحظ أنه فى حالة حدوث البرق الذى يظهر على ارتفاع ١٠ كيلومترات فان تركيز غاز الأوزون يزداد ٥ر١ مرة عن معدله الطبيعى فى طبقة التروبوسفير ٠ كما أن نسبة تركيز هذا الغاز تزداد ١٠ مرات فى حالة السحب الرعدية عن معدلها ثم تعود مرة أخرى الى معدلها الطبيعى فى فترة زمنية تقدر بحوالى ثلاث أو أربع ساعات منذ بداية تكون السحب الرعدية ٠ أما فى

حالة حدوث البرق على ارتفاع ٨٥٠ مترا من سطح الأرض فانه يسبب تكون كمياتاضافية من غاز الأوزون قد تساوى الكميات التى ينتجها تأثير الأشعة فوق البنفسجية في طبقة الاستراتوسفير واذا حدث البرق فان الومضة الواحدة منها تنتج كمية هائلة من الطاقة تقدر بحوالى ٢ × ١٠^{١٠}جول وهذه الطاقة كافية لانتاج كمية من غاز الأوزون تقدر بحوالى ٣٠ وحدة من وحدات دويسون في طبقة التروبوسفير وهذه الكمية تتكسر بسرعة مذهلة أى تتحول الى جزىء أكسجين وذرة أكسجين وذلك للحفاظ على الاتزان الطبيعي للأوزون ولكى تظل نسبة تركيزه في طبقة التروبوسفير صغيرة ومتناسبة مع الغازات الأخرى ·

انتاج البرق للأوزون يظهر بوضوح فى المناطق المعتدلة والمدارية وفى بعض الأماكن تم تسجيل تأثير التفريغ الكهربائى البطىء مع كميات غاز الأوزون وقد لوحظ أنه قبل تكون السحب الرعدية فى طبقات الجو الدنيا بثلاث ساعات يتكون في المتوسط ٣ × ١٠$^{-٨}$ ملليجرام من غاز الأوزون فى الثانيةالواحدة فى لتر من الهواء والتفريغ الكهربائى قد يحدث بين السحاب والأرض وذلك اذا كان السحاب قريبا من الأرض ومشحونا بشحنة كهربية عالية فاذا حدث التفريغ بين السحابة وأى جسم مرتفع عن سطح الأرض فانه يسمى بالصاعقة والتى تظهر بوضوح وتكون مصحوبة بصوت مرتفع · وقد تتعرض الأشجار والمنازل والسفن للصواعق ·

والتفريغ الكهربائى فى مثل هـذه الحالات يحدث مجالا كهربائيا شدته ٨ ــ ٩ فولت / سم وشدة مجال الصدمة الكهربائية الناتج عن ذلك يتناسب طرديا مع مربع شدة المجال الكهربائى وقد يصل الى ٢٠٠ فولت/ سم عند حدوث الرعد • وبهذه الطريقة يتحرر عدد من الالكترونات التى تحمل الطاقة النـاتجة من التفريغ الكهربائى • وهذه الطاقة بدورها تسبب تأين جزيئات وذرات مكونات الهواء وفى بعض الأحيان نجد أن البرق يزيد من تأثير الفوتونات الضوئيةَ لأطياف الأشعة فوق البنفسجية وبذلك تزداد شـدة هـذه الأشـعة وتسبب أضرارا جسيمة للأحياء• ومثل هذه الشرارة الكهربائية تساعد على تحويل خليط من الأكسجين والنتروجين الى أكاسيد نيتروجينيـة قابلة للذوبان فى المـاء لتـكوين أحماض أزوتية مثل حامض النتريك والنتريت ومثـل هذه التحولات بالطبع يمكن أن تؤثر على غاز الأوزون كما أنها تغير طعم مياه الشرب وتلوثها •

التوزيع الجغرافى للأوزون :

فيما مضى كان يعتقد أن توزيع الأوزون على سطح الكرة الأرضية يعتمد أساسا على خطوط العرض والزمن ومعامل ملوحة الأرض وفى السنوات القليلة الماضية تم عمل دراسات التوزيع الجغرافى للأوزون على المحيطات والقـارات وكذلك الأماكن ذات الضـغط المنخفض او المرتفع• ولقد وجد أن الكمية الكلية لغاز الأوزون تزداد

فى المناطق المعتدلة عندما تهب عليها الرياح القطبية الباردة ولا يقف تأثيرها عند هذا الحد بل اذا واصلت هذه الرياح مسيرتها الى الأماكن الفقيرة بالأوزون فانها تسبب أيضا ارتفاعا لكميته ٠ وعندما تهب رياح ساخنة من الصحارى على المحيطات الواقعة فى المناطق المدارية فاننا نجد أن الكمية الكلية للغاز تقل بنسبة ٤٠ ــ ٥٠٪ من قيمتها الطبيعية ويمكن أن تصل قيمتها الى ١٦ر٠ سم (١٦٠ وحدة من وحدات دويسون) وسوف نعطى مثالا على نقص كمية الأوزون فى المناطق المدارية (الباكستان) فقد هبطت كميته هبوطا يفوق الخيال ولو حدث هذا فى مثل هذه الأيام لظن الناس أن هناك ثقبا آخر للأوزون فى المناطق المدارية مثل ثقب القارة القطبية الجنوبية ٠

وفى عام ١٩٥٠ لوحظ أن الكمية الكلية لغاز الأوزون قد وصلت فى الباكستان الى أقل قيمة لها فى العالم حيث كانت ١٢ر سم (١٢٠ وحدة دويسون) ولا يمكن تفسير هذه الظاهرة الا عن طريق التغيرات المحلية التى تحدث فى الجو ٠

ولم يستطع أحد تفسيرها عن طريق ارتباط الكمية الكلية للغاز مع خطوط العرض ٠

وبدراسة الكمية الكلية لغاز الآوزون على سطح الكرة الأرضية يمكن أن نلاحظ أن هناك ثلاث مناطق غنية جدا بالأوزون الأولى هى شمال شرق آمريكا حيث تصل كمية الأوزون هناك الى أكثر من ٤٦ر سم والمنطقة الثانية هى شمال شرق أوروبا وتكون الكمية أكبر من

٤٢ر سم والمنطقة الثالثة شمال شرق آسيا والكمية تصل الى ٢٤٠ر سم . والكمية الكلية تكون أكبر بكثير عـلى المناطق السابقة فى فصـل الربيع وتضـعف في فصـل الخريف .

ويمكن ملاحظة أن الكمية الكلية لغاز الأوزون ــ جنوب خط عرض ٣٠° شمالا تقل كلما اتجهنا جنـوبا نحو خط الاستواء وتصل أكبر قيمة لغاز الأوزون في هذه المنطقة ٢٥٤ر٠ سم . وتحدث فى شهر مايو وأقل قيمة فى شهر ديسمبر ٢٤٨ر٠ سم .

وفى المنطقـة المحصـورة بين ٣٠ ، ٣٦° درجـة شمالا نجد النهاية العظمى للكمية الكلية لغاز الأوزون هى ٣٢٤ر سم وتحدث فى شهر مايو أما النهاية الصغرى للكمية فهى ٢٥٧ر سم وتحدث فى شهر نوفمبر .

وبدراسة متوسط تغير الكمية الكلية لغاز الأوزون على خطوط العرض المختلفة فى فترتين مختلفتين الفترة الأولى (١٩٥٧ ــ ١٩٥٩) والفترة الثانية (١٩٦٤ ــ ١٩٦٦) نجد أن الكمية الكلية لغاز الأوزون فى الفترة الأولى دائما أصغر من نظيرتها في الفترة الثانية أنظـر الجدول (٢) وذلك فى المناطق الاستوائية والمدارية خط عرض ١٠ ــ ٣٠° شمالا .

جدول (٢) مقارنة بين كميات الاوزون فى فترتين مختلفتين على خطوط العرض (١٠ ـ ٣٠ درجة شمالا)

الوقـــت	يناير	مارس	يوليو	نوفمبر	متوسط العام
متوسط كمية الأوزون فى الفترة ١٩٥٧ ـ ١٩٥٩	٢٤٨	٦٥٢	٢٤٨	٢٤٨	٢٤٩
متوسط كمية الأوزون فى الفترة ١٩٦٤ ـ ١٩٦٦	٢٥٦	٢٦٨	٢٧٢	٢٧٣	٢٦٧

ويمكن القول بأن متوسط كمية الأوزون فى شهر يناير عند هــذه الخطوط قد زاد من ســنة ١٩٥٧ ـ ١٩٦٤ بمقدار ٨ وحدات من وحدات دويسون أى بمعدل ١ر١ وحدة فى كل عام • ويكون المعدل فى شهر مارس ١ر٢ فى كل عام وفى يوليو ونوفمبر ١ر٣ وعلى العموم فالأوزون فى هذه المناطق وفى هذه الفترة كان يزداد من عام الى آخر •

وعند دراستنا لهذه الظاهرة عــلى خطوط العرض الأخرى وخاصة المناطق الغنية بالأوزون أى خط عرض ٥٠ ـ ٦٠° شمالا تجد أن العكس صحيح • فلقد وجد أن متوسط كمية الأوزون فى الفترة (١٩٥٧ ـ ١٩٥٩) هى ٣٥٦ وحدة دويسون وفى الفترة (١٩٦٤ ـ ١٩٦٦) هى ٣٥٠ وحدة أى أن كمية الأوزون قد قلت فى هــذه

الفترة بمقدار ٦ وحدات أى بمعدل وحدة فى العام . ومن ذلك يتضح أن متوسط الكمية الكلية لغاز الأوزون قد يزداد فى مكان ما ومقابل ذلك تقل فى مكان آخر وبذلك يمكن القول انه ليس هناك قانون يحكم هذه التغيرات .

التوزيع الرأسى لغاز الأوزون :

باستخدام الأرصاد العالمية للتوزيع الراسى لغاز الأوزون يمكن تقسيم العالم الى أربع حالات :

الحالة الأولى :

وهى التى تحدث فى المنطقة المدارية وفى هذه الحالة يصل تركيز الأوزون الى نهايته العظمى على ارتفاع ٢٤ ــ ٢٧ كيلو مترا والكمية الكلية للغاز فى هذه الحالة هى أقل قيمة له فى العالم وتصل الى ٢٦٠ر٠ سم وأحسن منطقة تميز هذه الحالة هى المنطقة التى تنحصر بين خطى عرض ٣٠ ــ ٣٥°

الحالة الثانية :

وتحدث هذه الحالة فى المناطق المعتدلة وتكون النهاية العظمى لتركيز غاز الأوزون على ارتفاع ١٩ ــ ٢١ كيلومترا والكمية الكلية لغاز الأوزون فى هذه الحالة أكبر من قيمته فى الحالة السابقة حيث تصل قيمته الى ٣٤٠ر٠ سم (٣٤٠ وحدة من وحدات دوبستون) .

الحالة الثالثة :

وتحدث فى المنطقة القطبية ـ النهاية العظمى لتركيز غاز الأوزون فى هذه الحالة يقع على ارتفاع ١٣ ـ ١٥ كيلومترا والكمية الكلية لغاز الأوزون تصل الى ٤٠٠ وحدة دويسون ٠

الحالة الرابعة :

وهى الحالة التى يظهر فيها لتركيز الأوزون نهايتان عظيمتان على ارتفاعين مختلفين النهاية الأولى تظهر على ارتفاع ١٩ ـ ٢١ كيلومترا والثانية تظهر على ارتفاع ١١ ـ ١٤ كيلومترا ومثل هذه الحالة تظهر فى بعض الأحيان فى المناطق المعتدلة والقطبية ويمكن أن تصل الكمية الكلية لغاز الأوزون الى ٦٦٠ر سم وتظهر مثل هذه الحالات فى نهاية الشتاء أو الربيع ٠

وفى كل هذه الحالات نجد أن كميات الأوزون فى طبقة التروبوسفير أقل من مثيلاتها فى طبقة الاستراتوسفير بكثير وخاصة فى الحالة الأولى ٠ وعلى أية حال فان حالة من الحالات السابقة وخاصة الحالة الثانية والثالثة يمكن أن تغير أماكن حدوثها من المناطق المعتدلة الى المناطق القطبية والعكس ٠

وهناك أرصاد للتوزيع الرأسى لغاز الأوزون أخذت على محطة تقع على خط عرض ٤٠° شمالا ومثيلاتها على خط عرض آخر ٤٧° شمالا فى شهر مارس حيث

تكون كمية الأوزون فى نهايتــه العظمى وفى شـــهر سبتمبر فى نهايته الصغرى • ولقد وجدت أكبر كميـــة تركيز للأوزون على ارتفاع ١٠ كيلومترات فى مارس• أما فى شهر سبتمبر فوجدت على ارتفاع ٢٢ كيلومترا وذلك عند خط عرض ٤٠° شمالا والنهاية العظمى لتركيز الأوزون فى المحطة التى تقع على خط عرض ٤٧° شمالا وجدت على ارتفاع ٢٠٫٥ كيلومترا فى سبتمبر • وعلى العموم فان النهـــاية العظمى لتركيز غاز الاوزون فى الحالتين الثانية والثالثة عند ارتفاع ١٢ــ١٤ كيلومترا فى فصل الربيع • أما فى المناطق الاستوائية فى فصـــل الخريف فنجد أن النهاية العظمى لتركيز غاز الأوزون تقع على ارتفاع ٢٧ كيلومترا تقريبا على خط عرض ٨° وقد ترتفع أكثر من ذلك حتى ٢٨٫٥ كيلومترا •

السحب الركامية والأوزون :

وهذه السحب تتكون بالنمو الرأسى وتشبه الجبال وتمتد من قرب سطح الأرض الى أكثر من ١٥ كيلومترا رأسيا الى أعالى طبقة التروبوسفير حيث تصل درجات الحرارة الى ما يقرب من ــ ٤٠° •

السحب الركامية تتكون من ثلاث مناطق :

المنطقة السفلى : وهى منطقة تتكون من قطرات الماء •

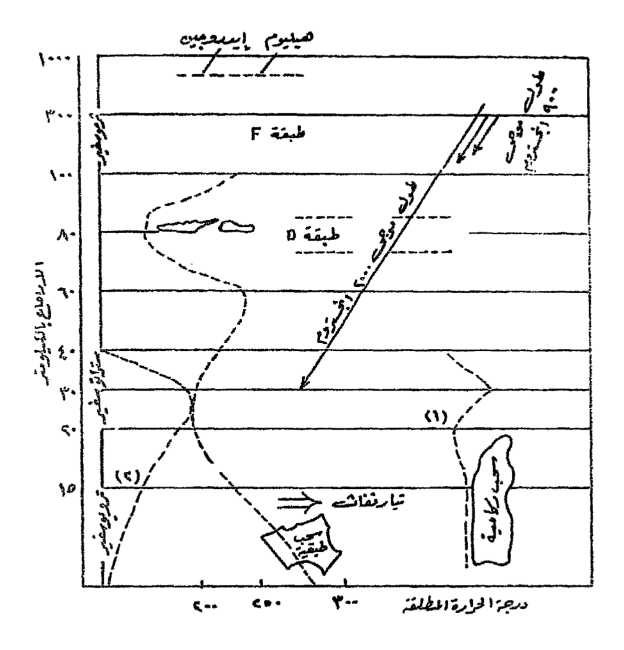
المطقة الوسطى : وهى منطقة نقط الماء الفوق مبرد

المنطقة العليا : وهى منطقة بللورات الثلج ·

وتعتبر السحب الركامية أهم أنواع السحب لأنها هى التى تجود بالبرد وفيها تتكون ظواهر البرق والرعد ولقد بينا فيما سبق تأثير البرق والرعد على الكمية الكلية لغاز الأوزون ·

وتوصل العلم حديثا الى أن جسيمات الغبار الدقيقة والمرئية ليست هى كل ما يتكاثف عليه بخار الماء فى الهواء بل ان الأيونات (الذرات المشحونة كهربيا) هى أيضا أيونات تكاثف هامة ، وتتولد الأيونات فى الهواء الجوى بتأثير الأشعة فوق البنفسجية القادمة من الشمس وأشعة جاما المنطلقة من العناصر المشعة فى القشرة الأرضية أو بتأثير الاحتكاك بين الرياح والجسيمات المحمولة بالتيارات الهوائية مما يؤدى الى تأين بعضها وتكون السحب · وهذه السحب عادة تكون مشحونة بشحنات كهربية ·

وخلاصة القول فى حالة وجود السحب الركامية تتكون حركة رأسية للهواء الى أعلى وهذه الحركة تحدث نقصا فى كمية الأوزون وهذا النقص قد يؤدى الى زيادة الأشعة فوق البنفسجية والتى قد تصل الى الأرض وبخلاف الأضرار ـ التى تنجم عن زيادتها الا أنها يمكن أن تقوم بتأمين جزئيات الهواء لتكون أنوية تكاثف ·



شكل (١) التوزيع الرأسى لدرجات الحرارة فى الجو

(١) التوزيع الرأسى للأوزون فى المناطق المدارية

(٢) التوزيع الرأسى للأوزون فى المناطق القطبية

المراجع

١ ـ رسالة الدكتوراه للمؤلف ـ جامعة موسكو ١٩٧٤م.

٢ ـ العالم الجديد مجلة التنمية والبيئة ـ العدد ٣١ يونيو ١٩٨٩ م .

٣ ـ مجلة الثقافة العالمية العدد ٤٥ مارس ١٩٨٩م . والعدد ٤٦ مايو ١٩٨٩م .

٤ ـ مجلة العلم والتكنولوجيا ـ العدد الرابع والتاسع.

٥ ـ تساؤلات كونية تاليف يمنى زهار منشورات دار الآفاق الجديدة ـ بيروت ١٩٨٣ م .

الفهرس

صدر من هذه السلسلة :

١ ـ الكومبيوتر	تأليف	د . عبد اللطيف أبو السعود
٢ ـ النشرة الجوية	تأليف	د . محمد جمال الدين الفندى
٣ ـ القمامة	تأليف	د . مختار الحلوجى
٤ ـ الطاقة الشمسية	تأليف	د . ابراهيم صقر
٥ ـ العلم والتكنولوجيا	تأليف	د . محمد كامل محمود
٦ ـ لعنة التلوث	تأليف	م . سعد شعبان
٧ ـ العلاج بالنباتات الطبية	تأليف	د . جميلة واصل
٨ ـ الكمياء والطاقة البديلة	تأليف	د . محمد نبهان سويلم
٩ ـ النهر	تأليف	د . محمد فتحى عوض الله
١٠ـ من الكومبيوتر الى السوبر كومبيوتر	تأليف	د . عبد اللطيف أبو السعود
١١ـ قصة الفلك والتنجيم		د . محمد جمال الدين الفندى
١٢ـ تكنولوجيا الليزر	تأليف	تأليف : د. عصام الدين خليل حسن
١٣ـ الهرمون	تأليف	د. سينوت حليم دوس
١٤ـ عودة مكوك الفضاء	تأليف	م. سعد شعبان
١٥ـ معالم الطريق	تأليف	د. سعدالدين الحنفى ابراهيم
١٦ـ قصص من الخيال العلمى	تأليف	رؤوف وصفى
١٧ـ برامج للكمبيوتر بلغة البيزيك	تأليف	د. عبد اللطيف ابو السعود
١٨ـ الرمال بيضاء وسوداء وموسيقية	تأليف	د . محمد فتحى عوض الله
١٩ـ القوارب للهواة	تأليف	شفيق مترى

مطابع الهيئة المصرية العامة للكتاب

رقم الايداع بدار الكتب ١٩٩١/٨٣١٦

ISBN — 977 — 01 — 2844 — 9

عندما يحدث نقص لغاز الأوزون فى الغلاف الجوى ، تزداد شدة سقوط الأشعة فوق البنفسجية على سطح الأرض وبذلك تزداد أمراض العيون وسرطان الجلد ولهذه الأشعة تأثير ضار وفتاك على الأسماك والأشجار والنباتات وغيرها من الأحياء.. ويمتد هذا التأثير إلى إتلاف إطارات السيارات والمواد البلاستيكية وكذلك الملابس المصنعة من البتروكيماويات .

وفى هذه الدراسة يحاول المؤلف تقديم تفسير لظاهرة النقص فى غاز الأوزون

